



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



Tesis

**“ANÁLISIS COMPARATIVO DEL ACERO POST EJECUCIÓN FRENTE AL
MODELADO BIM DE ACERO CON REVIT Y CUTLOGIC CONSIDERANDO
VARIACIONES IMPLÍCITAS EN EL HABILITADO”**

Presentado por:

Br. Ing. Rodrigo Eduardo Ttica Gonzalez

Para optar al título profesional de Ingeniero Civil

Asesor: MBA Ing. Hugo Cana Paullo

Cusco – Perú

2021



DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado a mi ejemplar padre Julio Eduardo Ttica Huallpa y mi madre hermosa Maritza Gonzalez Palomino por ser el mejor apoyo a lo largo de toda mi vida y a lo largo de mi carrera universitaria; de igual manera a todas las personas especiales que me acompañaron en esta etapa, aportando a mi formación como ser humano y profesional.



AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por ser mi guía y acompañarme en el transcurso de mi vida, brindándome paciencia y sabiduría para culminar con éxito mis metas propuestas.

A mis padres Julio Ttica y Maritza Gonzalez, por haberme dado la oportunidad de formarme profesionalmente y a mis hermanas Flor y Abigahil por haber sido mi apoyo durante todo este tiempo. Mi familia quienes me inculcaron la sinceridad, sacrificio y justicia.

Agradezco a mi asesor de tesis MBA. Ing. Hugo Cana P. quien con su experiencia, conocimiento y motivación me orientó en la investigación; brindándome soporte y consejo cuando lo necesitaba. A la Srta. Daphnne Zambrano por sus consejos, enseñanzas, apoyo y sobre todo amistad brindada en todo momento.

Al Ing Edison Ponce C. e Ing. Eduardo Salcedo S. por haberme guiado, no solo en la elaboración de este trabajo de titulación, sino haberme brindado el apoyo para desarrollarme profesionalmente y seguir cultivando mis valores.

A todos mis amigos con quienes tengo gratos recuerdos, en especial a José A. Aguilar A, con quien pasamos toda la época universitaria.

Finalmente, a mi persona por no rendirse y luchar siempre por lo que creo, conforme un principio de Nietzsche:

-Meter toda mi sangre en mis ideas-



RESUMEN

El presente trabajo de investigación abordó el tratado de productividad de obras, específicamente el uso eficiente del acero de construcción de las partidas de concreto armado, aplicado a tres proyectos de la ciudad del Cusco construidas en los años 2020 y 2021. El objetivo principal fue determinar la diferencia porcentual de los kilogramos totales del acero post ejecución frente al modelado BIM de acero con Revit y CutLogic considerando variaciones implícitas en el habilitado. La metodología abarcada en este estudio cuenta con un enfoque cuantitativo de nivel descriptivo y exploratorio, cuyo diseño metodológico es no experimental con carácter transeccional. De acuerdo con el análisis realizado los resultados obtenidos demuestran que la diferencia porcentual de kilogramos totales de acero, para el proyecto 1 tiene un exceso de uso del recurso acero del 9.18%, el proyecto 2 tiene un exceso de uso del recurso acero del 8.38 y el proyecto 3 tiene un exceso de uso del recurso acero del 10.45%. Al finalizar la investigación se llegó a la conclusión de que, el promedio ponderado de exceso de consumo de acero es del 9.21%, representando en promedio un costo de s/15,449.18 soles por cada edificación construida por las empresas.

Palabras clave: habilitación de acero, BIM, patrón de corte, productividad, edificaciones



ABSTRACT

The present research work addressed the issue of construction productivity, specifically the efficient use of construction steel of reinforced concrete items, applied to three projects in the city of Cusco built in the years 2020 and 2021. The main objective was to determine the percentage difference of the total kilograms of steel post-execution versus BIM modeling of steel with Revit and CutLogic considering implicit variations in the enabling. The methodology covered in this study has a quantitative approach of descriptive and exploratory level, whose methodological design is non-experimental with a transectional character. According to the analysis carried out, the results obtained show that the percentage difference of total kilograms of steel for project 1 has an excess use of the steel resource of 9.18%, project 2 has an excess use of the steel resource of 8.38% and project 3 has an excess use of the steel resource of 10.45%. At the end of the investigation, it was concluded that the weighted average of excess steel consumption is 9.21%, representing an average cost of s/15,449.18 soles for each building constructed by the companies.

Keywords: steel enablement, BIM, shear pattern, productivity, buildings



Índice General

1.	Capítulo I: INTRODUCCIÓN	12
1.1.	Planteamiento de problema	12
1.1.1.	Ubicación geográfica.....	12
1.1.2.	Ámbito de influencia teórico.....	13
1.2.	Formulación de problemas	14
1.2.1.	Descripción del problema a investigar	14
1.2.2.	Formulación interrogativa del problema general	15
1.2.3.	Formulación interrogativa de los problemas específicos	15
1.3.	Justificación de la investigación	16
1.3.1.	Justificación por conveniencia técnica.....	16
1.3.2.	Justificación por relevancia social.....	16
1.3.3.	Justificación por viabilidad	17
1.3.4.	Justificación de valor teórico.....	18
1.4.	Objetivos de investigación.....	18
1.4.1.	Objetivos generales	18
1.4.2.	Objetivos específicos.....	19
1.5.	Delimitación de estudio	19
1.5.1.	Delimitación espacial	19
1.5.2.	Delimitación temporal.....	19
2.	Capítulo II: MARCO TEÓRICO	21
2.1.	Antecedentes de la investigación.....	21
2.1.1.	Antecedentes a nivel nacional	21
2.1.2.	Antecedentes a nivel internacional.....	23
2.2.	Bases teórico-científicas	25



2.2.1.	Área de residencia, tipo de vivienda y material predominante con mayor influencia en la construcción de la región y ciudad del Cusco	25
2.2.2.	Importancia del acero en obra	35
2.2.3.	Computo de material según norma de metrados	38
2.2.4.	Porcentaje de desperdicio del acero	40
2.2.5.	Clasificación del desperdicio de materiales	42
2.2.6.	Principales causas del desperdicio de materiales	46
2.2.7.	Proceso de habilitado de acero convencional.....	49
2.2.8.	Procesos en análisis.....	51
2.2.9.	Variaciones de longitud implícitas durante el proceso.....	57
2.2.10.	Modelado de la información de la edificación (BIM)	60
2.2.11.	Herramientas de la metodología BIM	68
2.2.12.	Autodesk Revit	70
2.2.13.	Optimización de materiales mediante patrones de corte eficiente	79
2.2.14.	Aplicaciones	84
2.2.15.	CutLogic 1D - software de resolución de CSP.....	84
2.3.	Marco conceptual	85
2.4.	Hipótesis	88
2.4.1.	Hipótesis general	88
2.4.2.	Sub hipótesis	88
2.5.	JVariable(s) e indicadores	88
2.5.1.	Variables dependientes.....	88
2.5.2.	Variables independientes.....	88
2.5.3.	Indicadores de variables dependientes	89
2.5.4.	Indicadores de variables independientes	89
2.5.5.	Cuadro de operacionalización variables y matriz de consistencia	90
3.	Capítulo III: DISEÑO METODOLÓGICO	92



3.1.	Tipo de investigación.....	92
3.2.	Alcance del estudio.....	92
3.3.	Diseño de la investigación.....	93
3.4.	Población	94
3.5.	Muestra	94
3.6.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	98
3.6.1.	Técnica - observación directa: no experimental y experimental.....	98
3.6.2.	Instrumentos de recolección de datos.....	99
3.7.	Validez y confiabilidad de los instrumentos.....	100
3.7.1.	Hoja de registro de longitud real de varilla de acero A615 – G60 recepcionadas 100	
3.7.2.	Hoja de registro de cálculo de espesor de corte en varilla	101
3.7.3.	Hoja de registro de datos proporcionados por entidades colaboradoras	102
4.	Capítulo IV: RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN	103
4.1.	Recolección de Datos	103
4.1.1.	Longitud real de varilla	103
4.1.2.	Espesor consumido por corte de varilla	105
4.1.3.	Planos, presupuesto y cantidad de acero utilizadas en proyectos	107
4.1.4.	Proceso de Modelado	109
4.1.4.1.	Procedimiento de configuración de propiedades de materiales.....	109
4.1.4.2.	Procedimiento de configuración de propiedades de tipo.....	112
4.1.4.3.	Procedimiento de creación y configuración de formas de armadura.....	137
4.1.4.4.	Procedimiento de Modelado de Proyectos	141
4.1.5.	Exportación de datos con Dynamo.....	158
4.1.6.	Proceso de tratamiento de datos con Microsoft Excel	160
4.1.7.	Importación de datos y optimización con CutLogic 1D	163
4.2.	Plan de análisis de datos	166



4.3.	Resultados respecto a los objetivos específicos	170
4.3.1.	Variación porcentual de kilogramos totales de acero entre un metrado considerando dobles de las piezas y sin considerar	170
4.3.2.	Porcentaje de kilogramos totales de acero empleados en el proceso de corte para habilitado de acero	173
4.3.3.	Variación porcentual de kilogramos totales de acero entre una optimización considerando la longitud real y teórica de varilla	178
4.4.	Resultados respecto al objetivo General.....	184
4.5.	Resultados relevantes para la comparación literaria.....	189
5.	Capítulo V: DISCUSIÓN.....	200
5.1.	Limitaciones del estudio.....	200
5.1.1.	Limitaciones metodológicas.....	200
5.1.2.	Limitaciones de datos.....	200
5.2.	Comparación crítica con la literatura existente	200
5.3.	Implicancias del estudio	203
	CONCLUSIONES	205
	Sobre la metodología de propuesta	205
	Sobre los objetivos planteados	205
	RECOMENDACIONES	207
	REFERENCIAS	208
	ANEXOS.....	212
A.	Instrumentos de recolección de datos.....	212
B.	Solicitud de autorización para la recolección y/o uso de datos.....	215
C.	Medición de longitud real de varilla en campo.	217
D.	Medición de espesor de corte en varilla en campo.....	225
E.	Datos originales entregados por entidades colaboradoras.....	232
F.	Configuración de Tipo: Acero, para el software Revit 2020.	235
G.	Configuración de Familia Revit: formas de acero utilizadas.	241



H.	Algoritmo de exportación de datos de acero con Dynamo.	248
I.	Fórmulas para el tratamiento de datos con Microsoft Excel.	251
J.	Configuración de materiales y condiciones de corte en CutLogic 1D.	256
K.	Cantidades de acero obtenidos por resultado de optimización.	262
L.	Solicitudes de recolección de datos aprobadas.	328
M.	Panel fotográfico.....	334



Índice de Tablas

Tabla 1

Ubicación geográfica de la investigación..... 12

Tabla 2

Ubicación Política de la investigación. 12

Tabla 3

Crecimiento del VAB en miles de soles para el sector construcción en la región Cusco..... 27

Tabla 4

Perú: porcentaje de viviendas particulares, según censo tipo de vivienda 2007 y 2017. 30

Tabla 5

Población y densidad por distrito en la ciudad del Cusco, en porcentaje..... 32

Tabla 6

Tipo de vivienda más usual en los distritos de cusco, valor porcentual..... 33

Tabla 7

Material predominante en los techos de las viviendas, según área de residencia, 2003 – 2019, valor en porcentaje..... 34

Tabla 8

*Información sobre el consumo aparente per cápita de acero en América Latina (Kg./ Hab.)....
..... 36*

Tabla 9

Porcentaje de desperdicios de materiales de obra; CAPECO, 200. 41

Tabla 10

Tipos de desperdicios en la industria de la construcción, según LEAN..... 43

Tabla 11

Causa de los desperdicios de los materiales del acero, valor en porcentaje. 48

Tabla 12

Equipos y herramientas para el habilitado de acero convencional..... 51

Tabla 13

Longitudes mínimas de gancho según norma E.060..... 54

Tabla 14

Tolerancias de corte de varillas según ACI..... 55

Tabla 15

Diámetros mínimos de doblado según norma E.060. 56



Tabla 16	
<i>Presentación, dimensiones y pesos nominales de aceros ASTM A615– Aceros Arequipa.</i>	<i>57</i>
Tabla 17	
<i>Presentación, dimensiones y pesos nominales de aceros ASTM A615 – Sider Perú.....</i>	<i>58</i>
Tabla 18	
<i>Valores de incremento y decremento para refuerzos doblados, en metros.</i>	<i>60</i>
Tabla 19	
<i>Cuadro de operacionalización de variables.</i>	<i>90</i>
Tabla 20	
<i>Matriz de consistencia.....</i>	<i>91</i>
Tabla 21	
<i>Total de varillas empleadas según post ejecución en los proyectos estudiados.....</i>	<i>95</i>
Tabla 22	
<i>Total de piezas empleadas según modelado BIM por diámetro en los proyectos estudiados.</i>	<i>97</i>
Tabla 23	
<i>Total de piezas empleadas según modelado BIM en los proyectos estudiados.</i>	<i>98</i>
Tabla 24	
<i>Tabla de incremento y decremento por doblez en refuerzos.....</i>	<i>161</i>
Tabla 25	
<i>Costo promedio por kilogramo de acero – Proyecto 1.....</i>	<i>168</i>
Tabla 26	
<i>Costo promedio por kilogramo de acero – Proyecto 2.....</i>	<i>168</i>
Tabla 27	
<i>Costo promedio por kilogramo de acero – Proyecto 3.....</i>	<i>169</i>
Tabla 28	
<i>Resultados de objetivo específico 1 para el Proyecto-1:.....</i>	<i>170</i>
Tabla 29	
<i>Resultados de objetivo específico 1 para el Proyecto-2.....</i>	<i>171</i>
Tabla 30	
<i>Resultados de objetivo específico 1 para el Proyecto-3.....</i>	<i>172</i>
Tabla 31	
<i>Resultados de objetivo específico 2 para el Proyecto-1.</i>	<i>175</i>
Tabla 32	
<i>Resultados de objetivo específico 2 para el Proyecto-2.</i>	<i>176</i>



Tabla 33

Resultados de objetivo específico 2 para el Proyecto-3. 177

Tabla 34

Resultados de objetivo específico 3 para el Proyecto-1. 181

Tabla 35

Resultados de objetivo específico 3 para el Proyecto-2. 182

Tabla 36

Resultados de objetivo específico 3 para el Proyecto-2. 183

Tabla 37

Resultados del objetivo general para el Proyecto-1. 184

Tabla 38

Resultados del objetivo general para el Proyecto-2. 185

Tabla 39

Resultados del objetivo general para el Proyecto-3. 186

Tabla 40

Porcentaje de ahorro de acero respecto al liquidado en obra. 187

Tabla 41

Porcentaje de ahorro de acero por consideración de doblez. 189

Tabla 42

Porcentaje de acero empleado en corte para habilitación de piezas. 190

Tabla 43

Porcentaje de ahorro de acero por optimización de piezas en longitud promedio real de varilla. 191

Tabla 44

Porcentaje de error de la comparación de un presupuesto calculado de forma tradicional versus el presupuesto BIM. 192

Tabla 45

Porcentaje promedio de desperdicio inevitable por proceso de optimización en varillas de longitud comercial..... 193

Tabla 46

Porcentaje de desperdicio inevitable por proceso de optimización promedio ponderado en el total de piezas requeridas por proyecto. 194



Tabla 47

Porcentaje promedio de utilización neta de varillas de acero y desperdicio inevitable clasificado por diámetros..... 195

Tabla 48

Porcentaje de desperdicio producidos en obra por comparación con presupuesto BIM..... 196

Tabla 49

Porcentaje de familia de formas de armadura con mayor incidencia en los proyectos..... 198



Índice de Figuras

Figura 1

Mapa político administrativo de la provincia de Cusco. 13

Figura 2

Construcción: Valor Agregado Bruto en porcentajes, según departamento 2016...... 26

Figura 3

Descenso del sector construcción en el año 2015, VAB en miles de soles. 28

Figura 4

Estructura porcentual de actividades generadoras de VAB en Cusco. 28

Figura 5

Cantidad porcentual de viviendas particulares por región. 29

Figura 6

Tasa de crecimiento anual en porcentaje por tipo de vivienda a nivel nacional...... 31

Figura 7

Escala porcentual de tipos de vivienda en la ciudad del Cusco. 33

Figura 8

Porcentaje de viviendas de concreto armado en el área urbana de la región Cusco por años. .
..... 35

Figura 9

Consumo aparente de barras de acero para la construcción 2000-2018 (en miles de toneladas)...... 37

Figura 10

Importancia del acero en obra, valor porcentual del costo directo de obra. 38

Figura 11

Recomendaciones previas para realizar un buen metrado según CAPECO. 40

Figura 12

Desperdicios Inevitables y evitables. 44

Figura 13

Clasificación de los desperdicios de materiales 44

Figura 14

Causas del desperdicio de Acero, grafico de barras en porcentaje. 49

Figura 15

Proceso convencional de habilitado de acero, etapas y procesos. 50



Figura 16

Longitudes mínimas de gancho estándar y sísmico según norma E.060. 53

Figura 17

Elongación en barra doblada. 59

Figura 18

Organización del sistema BIM. 61

Figura 19

Nivel de adopción BIM en edificaciones urbanas en Lima Metropolitana y Callao el 2020, valor porcentual. 64

Figura 20

Nivel de adopción BIM por tipo de proyectos en Lima Metropolitana y Callao en el 2020. .. 65

Figura 21

Nivel de adopción BIM por tamaño de proyecto (área construida). 66

Figura 22

Nivel de adopción BIM por tamaño de proyecto (altura edificación). 66

Figura 23

Especialidades modeladas (% respecto de los proyectos que usan BIM). 67

Figura 24

Grado de aplicación BIM con subcontratos en proyectos de edificación-2017. 68

Figura 25

Softwares utilizados en proyectos de edificación urbana en Lima Metropolitana y Callao 2020, valor porcentual. 69

Figura 26

Herramientas BIM más utilizadas en Cusco, valor porcentual. 70

Figura 27

Clasificación LOD como nivel de desarrollo. 73

Figura 28

Modelo conceptual de un Plan de decisión LOD. 78

Figura 29

Clasificación de los problemas de corte y empaquetado. 81

Figura 30

Ejemplo Ilustrativo de solución mediante patrón de corte. 83

Figura 31

Procesos de investigaciones cuantitativas. 92



Figura 32

Hoja de registro de longitud real de varilla de acero..... 101

Figura 33

Hoja de registro de cálculo de espesor de corte en varilla. 102

Figura 34

Instalaciones de entidad colaboradora PROMASA..... 103

Figura 35

Proceso de medición de longitud real de varilla en PROMASA..... 104

Figura 36

Hoja de registro de longitud real de varilla de acero con datos tipeados..... 104

Figura 37

Proceso analítico de la recolección de datos para hallar el espesor de corte consumido.... 105

Figura 38

Proceso de corte con amoladora angular en campo. 106

Figura 39

Proceso de corte con tronzadora metálica en campo. 106

Figura 40

Hoja de registro de cálculo de espesor de corte en varilla con datos tipeados. 107

Figura 41

Información básica de proyecto 1..... 108

Figura 42

Información básica de proyecto 2..... 108

Figura 43

Información básica de proyecto 3..... 109

Figura 44

Ventana de explorador de materiales, para crear el material..... 110

Figura 45

Ventana de explorador de materiales, para seleccionar la varilla a utilizar..... 110

Figura 46

Colores de los materiales creados para acero corrugado de acuerdo al diámetro. 111

Figura 47

Ventana de barra de armadura por diámetro de varilla de acero corrugado a utilizar para el modelado. 112



Figura 48	
<i>Ventana de propiedades de los elementos de armadura.....</i>	<i>113</i>
Figura 49	
<i>Parámetros de Construcciones para Revit según Autodesk.....</i>	<i>114</i>
Figura 50	
<i>Ventana de propiedad de tipo, configuración de parámetro de construcción, deformación.</i>	<i>115</i>
Figura 51	
<i>Parámetros de Materiales y acabados para Revit según Autodesk.</i>	<i>115</i>
Figura 52	
<i>Propiedades de tipo , materiales (AC corrugado 3/8”ASTM A615,Grado 60).....</i>	<i>116</i>
Figura 53	
<i>Especificaciones de cotas, diámetro de barra, curvatura estándar y curvatura de gancho estándar para Revit según Autodesk.</i>	<i>116</i>
Figura 54	
<i>Especificaciones de cotas, diámetro de curvatura de estribo/tirante, longitud de gancho y radio máximo de curvatura para Revit según Autodesk.</i>	<i>117</i>
Figura 55	
<i>Ejemplo de modificación de diámetro de varilla en Revit.</i>	<i>118</i>
Figura 56	
<i>Ejemplo de cálculo de diámetros de curvatura según normativa.</i>	<i>119</i>
Figura 57	
<i>Ejemplo de modificación de diámetros de curvatura según normativa en Revit.</i>	<i>119</i>
Figura 58	
<i>Comprobación de configuración de diámetros mínimos de curvatura según normativa.</i>	<i>120</i>
Figura 59	
<i>Ejemplo de modificación de longitudes de gancho en Revit.</i>	<i>120</i>
Figura 60	
<i>Especificaciones de tipo de gancho de armadura, longitud de gancho, longitud de tangente y longitud de desfase para Revit según Autodesk.</i>	<i>121</i>
Figura 61	
<i>Ejemplo de modificación de tipos de gancho de armadura en Revit.</i>	<i>122</i>
Figura 62	
<i>Ejemplo de cálculo de longitudes de gancho según normativa.</i>	<i>122</i>



Figura 63	
<i>Gancho de 45° según Revit.</i>	123
Figura 64	
<i>Gancho de 90° según Revit.</i>	124
Figura 65	
<i>Gancho de 135° según Revit.</i>	124
Figura 66	
<i>Gancho de 180° según Revit.</i>	125
Figura 67	
<i>Análisis de longitud de gancho tangente.</i>	126
Figura 68	
<i>Ejemplo de cálculo de longitud de tangente de gancho estándar ,estribo/tirante.</i>	127
Figura 69	
<i>Longitud de gancho de armadura ,configuración de longitud de tangente en Revit.</i>	128
Figura 70	
<i>Comprobación de gancho estándar 90° para diámetro 3/8”</i>	128
Figura 71	
<i>Comprobación de gancho estándar 180° para diámetro 3/8”</i>	129
Figura 72	
<i>Comprobación de gancho estribo/ tirante 135° para diámetro 3/8”</i>	129
Figura 73	
<i>Comprobación de gancho estribo/ tirante 90° para diámetro 3/8”.</i>	130
Figura 74	
<i>Comprobación de gancho sísmico estribo/ tirante 135° para diámetro 3/8”</i>	130
Figura 75	
<i>Ventana de longitudes de gancho de armadura,configuración de tipo de barra y el tipo de gancho de armadura a utilizar.</i>	131
Figura 76	
<i>Longitud de gancho de armadura de acero corrugado de 1/4”</i>	132
Figura 77	
<i>Longitud de gancho de armadura de acero corrugado de 3/8”</i>	133
Figura 78	
<i>Longitud de gancho de armadura de acero corrugado de 1/2”.</i>	134



Figura 79

Longitud de gancho de armadura de acero corrugado de 5/8". 135

Figura 80

Longitud de gancho de armadura de acero corrugado de 3/4". 136

Figura 81

Longitud de gancho de armadura de acero corrugado de 1". 137

Figura 82

Codificación de formas de armadura para estribos en Revit 2020. 138

Figura 83

Codificación de formas de armadura para aceros longitudinales en Revit 2020. 140

Figura 84

Identificación de elementos estructurales y piezas de acero en modelo de estructuras. 141

Figura 85

Modelado de acero de cimentación de estructuras, vista en corte, planta y 3D. 142

Figura 86

Modelado de longitud de empalme en cimentación correspondiente a zona y diámetro. 143

Figura 87

Modelado de acero de vigas de cimentación de estructuras, vista corte, alzado y 3D. 144

Figura 88

Modelado de longitud de empalme en viga de cimentación correspondiente a zona y diámetro. 145

Figura 89

Vista 3D completa de modelado de cimentación. 145

Figura 90

Modelado de longitud de empalme en columnas y placas correspondiente a zona y diámetro. 146

Figura 91

Modelado de acero de columnas y placas de estructuras, vista planta, alzado y 3D. 147

Figura 92

Modelado de empalme escalonado según lo indica la norma E.060 capítulo 12. 148

Figura 93

Modelado de empalme escalonado completo según lo indica la norma E.060 capítulo 12. 148

Figura 94

Modelado de acero de vigas de estructuras, vista alzado, corte y 3D. 149



Figura 95

Identificación de aceros perteneciente a viga y placa en nudo estructural. 150

Figura 96

Confluencia de aceros perteneciente a viga y placa. 150

Figura 97

Modelado de anfitrión para armadura de acero de escaleras. 151

Figura 98

Modelado de acero de escaleras de estructuras, vista en corte y 3D. 152

Figura 99

Identificación de aceros perteneciente a cimentación de escalera. 152

Figura 100

Modelado de acero de tanque cisterna, vista en corte y 3D. 153

Figura 101

Identificación de aceros pertenecientes a tanque cisterna. 154

Figura 102

Modelado de acero en losas de los proyectos. 154

Figura 103

Modelado de acero de losas, vista en corte y 3D. 155

Figura 104

Resumen de modelado total de estructuras. 156

Figura 105

Modelado completo de Proyecto 1. 157

Figura 106

Modelado completo de Proyecto 2. 157

Figura 107

Modelado completo de Proyecto 3. 158

Figura 108

Ubicación de reproductor de Dynamo en Revit 2020. 158

Figura 109

Algoritmo en Dynamo para extracción de información y exportación de datos a hoja de cálculo. 159

Figura 110

Columnas necesarias en hoja de cálculo para la recepción de datos exportados con Dynamo. 160



Figura 111

Hojas de cálculo necesarias para la automatización de la información. 162

Figura 112

Interpretación de los valores hallados por incremento y decremento en formas de armadura conocidas. 162

Figura 113

Orden de los datos recopilados para la correcta importación al software de optimización CutLogic 1D. 163

Figura 114

Configuración de nivel de optimización en software Cut Logic 1D. 164

Figura 115

Proceso de optimización de cortes en Cut Logic 1D. 165

Figura 116

Resultados de patrones de corte obtenidos en Cut Logic 1D. 166

Figura 117

Espesor promedio de corte real con disco de 2.4mm. 174

Figura 118

Frecuencia de Longitudes reales de varilla sin distinción de diámetro. 179

Figura 119

Frecuencia de Longitudes reales de varilla agrupado por diámetros. 180

Figura 120

Porcentaje promedio ponderado de ahorro de acero respecto al liquidado en obra. 187

Figura 121

Resumen de resultados del objetivo general. 188

Figura 122

Porcentaje promedio ponderado de ahorro de acero por consideración de dobléz. 189

Figura 123

Porcentaje promedio ponderado de acero empleado en corte. 190

Figura 124

Porcentaje promedio ponderado de ahorro de acero por optimización en longitud promedio real de varilla. 191

Figura 125

Porcentaje de promedio de un presupuesto calculado de forma tradicional versus el presupuesto BIM. 192



Figura 126

Porcentaje promedio de desperdicio inevitable por proceso de optimización. 194

Figura 127

Porcentaje de desperdicio de acero post ejecución por diámetro. 197

Figura 128

Porcentaje de formas de armadura con mayor incidencia en los proyectos. 198

Figura 129

Formas de armadura que representan más del 90% del total utilizadas en los proyectos. .. 199

Índice de Fórmulas

Fórmula 1

Muestra de poblaciones finitas. 95

Fórmula 2

Longitud de tangente – Revit 2020..... 126

Fórmula 3

Media aritmética o promedio..... 173



1. Capítulo I: INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento de problema

1.1.1. Ubicación geográfica

La investigación se desarrolla en el departamento del Cusco, provincia del Cusco en tres proyectos residenciales que tienen de 8 a 10 pisos con un área de terreno de 110 m² a 200 m² y que están contruidos con concreto armado, la investigación será desarrollada in situ y en gabinete.

El estudio es realizado en 3 obras de distintas empresas.

Tabla 1

Ubicación geográfica de la investigación.

COORDENADAS GEOGRAFICAS		COORDENADAS UTM		ZONA
LATITUD	LONGITUD	ESTE	NORTE	
13°31'51.31"S	71°57'53.05"O	179068.4 mE	8502206.7 mS	19S

Nota: Las coordenadas corresponden al distrito de Wánchaq, donde se ubica el proyecto 1.

Tabla 2

Ubicación Política de la investigación.

DEPARTAMENTO	PROVINCIA	DISTRITO
CUSCO	CUSCO	-

Nota: No se detalla con precisión por condiciones del uso de datos, detallado en los anexos, apéndice E.



Figura 1

Mapa político administrativo de la provincia de Cusco.



Nota: Extraído de *Google imágenes*

(https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/cc/Provincia_Cusco.jpg).

1.1.2. *Ámbito de influencia teórico*

El presente tema es parte del tratado “Productividad en Obras” desarrollado en la escuela profesional de ingeniería civil.

Los autores Alejandro Cantu et al., (2018) postulan que “*la productividad es la relación entre lo producido y lo gastado en ello, pero también representa la medición de la eficiencia con que los recursos son administrados para completar un producto en específico*”.

Existen muchos factores que influyen en la productividad de los proyectos, lo crucial es saber cuáles son los que más influyen negativamente, para actuar sobre ellos con el propósito de aminorar su efecto. Cantu et al. (2018), plantean que diversas herramientas y métodos son utilizados para poner en evidencia los problemas que afectan la productividad, los que, al ser reducidos o eliminados, permitirán reducir los costos asociados al material, mano de obra y a los equipos (Cantu et al., 2018, p. 2).

Se presenta en este trabajo los resultados y experiencia en la implementación de la metodología BIM, con el software Revit 2020 y junto a la optimización por longitud de varilla real, corte y doblado con el software CutLogic 1D, en diversas obras de nuestro medio y un análisis de las pérdidas implícitas en los procesos de habilitación del acero, así como las causas que las originan.



1.2. Formulación de problemas

1.2.1. Descripción del problema a investigar

Existen varios casos donde se demuestran que en el ámbito de la construcción se genera grandes cantidades de desperdicio de acero, siendo este por su alto uso y costo un material incidente en el presupuesto del proyecto.

Buleje Revilla (2012) cita a Flavio Picchi quien concluye en su tesis doctoral, realizando un cálculo de los desperdicios producidos en las construcciones en Sao Paulo, que estos llegan a obtener el 30% del costo total de la obra. Es decir que, si tendríamos un proyecto de cuatro edificaciones, podríamos construir el cuarto edificio con el desperdicio generado de los otros tres (p. 9).

Según una investigación realizada por la Corporación Aceros Arequipa (2009) “*el costo del acero corrugado en las obras representa el 11% del costo directo del proyecto*”, considerándose dentro de los materiales con mayor costo e incidencia dentro del presupuesto. Los desperdicios generados por el acero representan un costo considerable para las empresas que se cuestionan ¿Cuál es la manera más eficiente de reducir los desperdicios del acero en las partidas de concreto armado? (p. 2).

Dentro de las causas más comunes generadoras de desperdicios están considerados: “falta de detalle en planos, metrados inexactos, inexistencia de detalle de despiece, falta de capacitación de habilitación de acero e indebido almacenaje del material” según lo indica el autor Castro Atau (2010).

Durante la habilitación del acero para las partidas de concreto armado existen procesos inherentes como el corte y doblado que según indica Aceros Arequipa repercute en el tiempo, calidad y control de desperdicios de esta partida.

Estas partidas se vienen ejecutando en la mayoría de proyectos de viviendas residenciales multifamiliares en la ciudad del Cusco, dado que el tipo de vivienda: departamento en edificio viene siendo el de mayor tasa de crecimiento a nivel nacional con un 8%, por detrás el tipo de vivienda: casa independiente con 3.1%; a su vez el material predominante de las viviendas es el concreto armado, que desde el 2002 al 2020 se ha incrementado en un 6% en el departamento del Cusco (INEI, 2017b, p. 286).

Hoy en día el método industrial de habilitación de acero no abastece a todos los proyectos que existen y menos a los que no están cercanos a la capital, ya que es un servicio



centralizado y que no cuenta con ninguna clase de competencia más que el método convencional de ejecución que sigue generando altos porcentajes de desperdicios.

Las obras de menor envergadura no son atendidas por este servicio, y el único método para seguir ejecutando los proyectos es el convencional, sin embargo, esto no significa que no se puedan mejorar los procesos y reducir los desperdicios, actualmente contamos con nuevas tecnologías y metodologías que nos ayudan a cuestionar procesos tradicionales, afirmando su eficiencia o abriendo una oportunidad de mejora.

La optimización de cortes en longitud real de varilla, el corte de varilla propiamente y doblado de piezas de acero representan un porcentaje de kilogramos de acero total que aún no se estudió a detalle para saber si es un tonelaje significativo de ahorro o desperdicio.

Actualmente estas minuciosas variaciones pueden ser calculadas gracias a los softwares de modelamiento 3D, optimización de despiece y software de programación que facilitan la tarea de detallar el diseño del acero estructural, brindándonos metrados más exactos y reduciendo el porcentaje de desperdicios del acero en la partida de concreto armado aminorando finalmente el costo total del proyecto.

1.2.2. Formulación interrogativa del problema general

- ¿Cuál es la diferencia porcentual de los kilogramos totales del acero post ejecución frente al modelado BIM de acero con Revit y CutLogic considerando variaciones implícitas en el habilitado?

1.2.3. Formulación interrogativa de los problemas específicos

Problema Específico N° 01.

- ¿Cuál es la variación porcentual de kilogramos totales de acero entre un metrado considerando dobles de las piezas y sin considerarlo?

Problema Específico N° 02.

- ¿Cuál es el porcentaje de kilogramos totales de acero empleados en el proceso de corte para habilitado de acero?



Problema Específico N° 03.

- ¿Cuál es la variación porcentual de kilogramos totales de acero entre una optimización considerando la longitud real y teórica de varilla?

1.3. Justificación de la investigación

1.3.1. Justificación por conveniencia técnica

En la presente investigación podemos observar que en la actualidad la mayoría de proyectos de construcción civil de nuestra ciudad del Cusco no cuentan con un control de desperdicio o pérdidas de materiales incidentes del presupuesto de obra, generando incremento de costo y pérdidas de utilidades al concluir con el proyecto de construcción.

Existen diferentes estudios sobre el cálculo de desperdicios del acero, pero aún no se tiene el estudio minucioso de consumo implícito de acero en procesos inherentes al habilitado del mismo, dejando incertidumbre sobre si existe una oportunidad de mejorar los procesos hasta hoy convencionales o las mejoras no son trascendentales por su bajo porcentaje de reducción de desperdicios, y concluir que la forma hasta hoy de ejecutar el habilitado de acero es la correcta.

Es tarea nuestra como ingenieros tener la respuesta exacta de dicha incógnita, para poder calificarla de relevante o no relevante y buscar sus soluciones; en nuestros procesos convencionales de construcción civil no se tiene la certeza de poder afirmar que una partida de se viene ejecutando de la forma más eficiente; o si no lo hace, no sabemos con certeza en que porcentaje se está desperdiciando los recursos para darnos indicios y plantear mejoras que hoy son posibles con ayuda de la tecnología y nuevas metodologías de trabajo (Cantu et al., 2018).

Dentro de nuestra formación la especialidad de productividad nos anima a optimizar procesos y tener controlado cualquier desviación de recursos que solo sea contributivo; justificando los esfuerzos por determinar los porcentajes de acero consumido durante los procesos de habilitado; y que hasta hoy pasaron desapercibidos.

1.3.2. Justificación por relevancia social

Actualmente se tienen dos métodos para ejecutar la partida de habilitado de acero, el método convencional o tradicional, que produce el mayor porcentaje de desperdicio del recurso;



y el método industrial, llamado ACEDIM por Aceros Arequipa, que no produce ningún tipo de desperdicio, no necesita de espacio de almacenamiento, cumple con las longitudes de desarrollo, respeta los diámetros mínimos de doblez, entre otras ventajas.

Sin embargo, *el método industrial aun no es de fácil acceso para todos los proyectos y peor aún es un servicio que se encuentra centralizado en la capital del país*. En la ciudad del Cusco, capital del departamento, no se encuentra ninguna empresa que preste el servicio de habilitado de acero por el método industrial, siendo una potencial oportunidad de negocio. Para una empresa que dedique sus servicios al habilitado de acero, y para cualquier empresa privada o proyecto público de gran envergadura que ejecute esta partida es de interés reducir, al máximo posible, la cantidad de desperdicio que esta partida incidente genera es sus presupuestos.

La presente investigación tiene como objetivo social aportar al conocimiento del manejo de desperdicios producidos por el habilitado de acero en obras que no pueden acceder al ACEDIM, ya que si las obras no pueden acceder a tal servicio no debe ser motivo para seguir trabajando con los grandes porcentajes de desperdicios que hasta hoy se mantienen; este trabajo dará una oportunidad de mejora que puede ser aplicada en la fase de diseño de una obra.

También dejará a los estudiantes, profesionales y empresas las bases para el correcto modelado de acero en el software Revit 2020, software con mayor aceptación para la ciudad del Cusco, el cual se utiliza para aplicar la metodología BIM.

Se obtendrá un mejor panorama sobre la correcta gestión de desperdicios o residuos debe de sustentar la reutilización de acero para disminuir el porcentaje de desperdicio en la ejecución de la obra y favorecer al presupuesto final del proyecto.

1.3.3. Justificación por viabilidad

La presente investigación es viable ya que se cuenta con la información necesaria para el análisis comparativo del acero post ejecución y el modelado de acero con Revit considerando variaciones implícitas en el habilitado de acero de la partida de concreto armado, de esta manera determinar la cantidad de kilogramos totales de las dos variables.

Se cuenta con los softwares y con la experiencia, que se necesita para su uso y la programación, que demanda el estudio.



1.3.4. Justificación de valor teórico

La presente investigación es relevante en la especialidad de productividad debido a que será una investigación nueva e innovadora en el ámbito de la optimización de materiales de construcción de nuestra ciudad del Cusco, aplicándose a el acero en las partidas de concreto armado.

Enfocada a eliminar cualquier tipo de actividad o recurso que no agregue valor y genera pérdidas, teniendo como objetivo calcular y presentar el porcentaje de acero consumido implícitamente durante el proceso de habilitado para poder catalogarlo como sustancial o no sustancial dentro de un metrado total y poder describirlo con cifras exactas, dejando despejada la duda sobre si los futuros esfuerzos por su mitigación son coherentes.

En un contexto gerencial y empresarial, la presente investigación tiene una relevancia grande respecto a que este análisis es uno de los más minuciosos que se pueda tratar en casos de optimización, puesto que se considera variaciones milimétricas de longitud de desarrollo sin afectar a la calidad y que solo podrían cumplirse utilizando el método industrial de habilitado.

Es relevante por aplicar nuevas ideas y metodologías, pretendiendo evaluar el consumo total del acero utilizado de forma convencional en el proyecto de construcción y compararlo con el calculado utilizando el modelamiento 3D y considerando las variaciones propias del habilitado para simular la realidad al máximo posible y que implementado a la construcción nos permite tener cantidades más exactas para la realización de metrados de un proyecto.

Hoy en día todos estamos sujetos a cambios, a causa de que existe demasiada competencia en el rubro de la construcción junto a la implementación de nuevas metodologías, como son lean construction y el sistema BIM, el cual implica romper esquemas en el sector privado y otras (Pons Achell, 2014).

1.4. Objetivos de investigación

1.4.1. Objetivos generales

- Determinar la diferencia porcentual de los kilogramos totales del acero post ejecución frente al modelado BIM de acero con Revit y CutLogic considerando variaciones implícitas en el habilitado.



1.4.2. *Objetivos específicos*

Objetivo Específico N° 01.

- Determinar la variación porcentual de kilogramos totales de acero entre un metrado considerando dobleces de las piezas y sin considerar.

Objetivo Específico N° 02.

- Demostrar el porcentaje de kilogramos totales de acero empleados en el proceso de corte para habilitado de acero.

Objetivo Específico N° 03.

- Determinar la variación porcentual de kilogramos totales de acero entre una optimización considerando la longitud real y teórica de varilla.

1.5. Delimitación de estudio

1.5.1. *Delimitación espacial*

- La investigación se limita al departamento del Cusco, provincia de Cusco.
- Se limita a guardar confidencialidad de las direcciones de las obras en estudio para la presente investigación.

1.5.2. *Delimitación temporal*

- La investigación se limita a los años 2020 – 2021, como años en los que se ejecutaron las estructuras de los proyectos.



2. Capítulo II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación.

2.1.1. Antecedentes a nivel nacional

Antecedente N°1

Castro Atau (2010) desarrollo la tesis titulada “Sistematización de detalles, habilitación y armado de aceros ASTM A615 para construcciones de concreto armado: Impacto técnico, económico y ambiental”. La tesis se presentó en la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga en Ayacucho el año 2010. el objetivo de este estudio fue sistematizar dando pautas ordenadas y racionales para el buen aprovechamiento del Acero ASTM A615, desde la concepción de los diseños de piezas en los proyectos, pasando por los cortes y doblados hasta la colocación dentro de los elementos estructurales en la construcción (p. 13).

Las conclusiones a las que se arriba son:

- i. Se llegó a la conclusión de que el desperdicio generado en la primera obra de análisis “Residencial Juan Bautista” fue de 20.07% y la segunda “Construcción Institución Educativa San Juan de Pacobamba” de 19.90%. Estos resultados reafirman a los hallados por el autor Lucio Soibelman que propone un rango de desperdicio de 7% al 27% (p. 197).
- ii. El porcentaje de ahorro de consumo de acero por considerar el ajuste de elongaciones debido al doblado es de 1.13% respecto al acero netamente consumido sin optimización (p. 203).

La diferencia con el estudio que se realizará esta en las herramientas utilizadas para la recolección y análisis de información, ya que en la tesis antecedente se utiliza el método convencional para la obtención de la longitud de desarrollo de las piezas de acero y para la optimización se hace uso de un software con limitaciones para el procesamiento de información en grandes cantidades.



Antecedente N°2

Siccha Pachamango & Villarruel Pastor (2015) desarrollo la tesis titulada “Propuesta de ejecución constructiva de la obra “Los Dijes del Golf” para mejorar la productividad mediante el proceso BIM con el software REVIT, en la ciudad de Trujillo del 2015.”, presentada en la Universidad Privada Antenor Orrego – La Libertad el año 2015. El objetivo fue desarrollar la propuesta de ejecución constructiva de la obra en estudio para mejorar la productividad mediante el proceso BIM con el software Revit realizando el modelado del proyecto para hallar incompatibilidades, realizar la programación y control de ejecución, finalmente obtener metrados.

Las conclusiones a las que se arriba son:

- i.** Obteniendo los metrados de acero, encofrado y concreto en estructuras del Revit, y compararlos con los calculados manualmente (Excel), se obtuvo un error promedio de 1.58%, para los autores dicho error es irrelevante ya que es mínimo (p. 93).
- ii.** Se recomienda considerar los metrados proporcionado por el Software Revit para una estimación de costos del Proyecto. Salvo las partidas de acero, ya que el software usa un coeficiente promedio de kg/m³ para su cuantificación y presentan diferencias relativamente mayores. (p. 95)

La diferencia del presente antecedente con el estudio que se realizará esta en el plan de análisis de datos, ya la tesis antecedente utiliza el método directo (o por defecto) para la obtención de metrados del software de modelado.

Antecedente N°3

Soriano, (2016) desarrollo la investigación titulada “Evaluación del sistema de despiece de acero ASTM-A615 en edificaciones en la ciudad de Huancayo” presentada a la Universidad Peruana Los Andes en Junín el año 2016. Para el autor el principal problema que se plantea solucionar, en la etapa de proyecto y en la etapa de construcción, es tratar de recortar las mermas generadas, a través de un sistema de despiece más técnico e industrial, que permita un mayor rendimiento en cuanto al armado de los elementos estructurales (p. 21).



Las conclusiones a las que se arriba son:

- i. El autor concluye que el sistema de despiece de aceros ASTM-A615, no es eficiente debido a que genera pérdidas de materiales, esto se vio reflejado en el porcentaje de desperdicio que se generó en el sistema de optimización de corte de acero evaluado en los 04 proyectos, que fue del 4.29%, 5.72%, 3.83% y 2.65%, como promedio simple de los diferentes diámetros utilizados respectivamente para el caso de cada uno de los proyectos (p. 211).
- ii. En la ejecución de la optimización de las varillas de $\frac{1}{4}$ " de diámetro, obtuvo un desperdicio del 4.17 %; para las varillas de $\frac{3}{8}$ " de diámetro obtuvo un desperdicio del 2.27 %; en el caso de las varillas de $\frac{1}{2}$ " de diámetro obtuvo un desperdicio del 3.60 %, para la optimización de las varillas de $\frac{5}{8}$ " de diámetro, obtuvo un desperdicio del 2.16 % usando, para la optimización de las varillas de $\frac{3}{4}$ " de diámetro, obtuvo un desperdicio del 2.34 %, finalmente en la ejecución de la optimización de las varillas de 1" de diámetro, obtuvo un desperdicio del 8.01%, todas las optimizaciones usando varillas de 9 metros de longitud.

La diferencia con el estudio que se realizará se encuentra en las herramientas utilizadas para la recolección, el análisis de información y la consideración de las variaciones de longitud por consideración de variaciones implícitas en el habilitado de acero, ya que en la tesis antecedente se utiliza el método convencional para la obtención de la longitud de desarrollo de las piezas de acero y para la optimización se hace uso de un software con limitaciones para el procesamiento de información.

2.1.2. Antecedentes a nivel internacional

Antecedente N°1

Ochoa Reiban, (2014) desarrollo la tesis titulada "Optimización de corte de varillas de acero de construcción" presentada en la Universidad de Cuenca en Ecuador el año 2014. El autor construye un modelo matemático para la optimización de tipo Programación Lineal Entera Pura que tiene por fin, realizar cortes sobre barras de longitud estándar a



partir de piezas demandadas de tal forma que se requieran el mínimo número de barras estándar, lo que repercute en una reducción del desperdicio y economizar el presupuesto de dinero.

Las conclusiones a las que se arriba son:

- i. Ochoa Reiban, (2014) concluye que una vez obtenida la lista de piezas demandadas se procede a la optimización, se realizó el ingreso de datos agrupándolos en función del diámetro, es decir, por cada ejecución del programa se ingresó un solo tipo de diámetro (p. 57).
- ii. En esta investigación se usó los diámetros en milímetros y la longitud comercial de 6m, obteniendo el promedio ponderado de desperdicio según la cantidad de las piezas requeridas, se calculó el valor de 5.93% de desperdicio generado por optimización de cortes para el proyecto estudiado (p. 49).

La diferencia del presente antecedente con el estudio que se realizará esta en la optimización de piezas considerando variaciones implícitas del habilitado y la longitud comercial de varilla, ya la tesis antecedente ejecuta una optimización directa con la información obtenida de un metrado convencional y utiliza varillas de longitud comercial del contexto geográfico.

Antecedente N°2

Herrera, (2021) desarrollo la investigación titulada “Aplicación De La Metodología Bim En Un Proyecto De Edificación: 10 Viviendas, Garajes Y Trasteros En Edificio Plurifamiliar” presentada en la Universidad Pablo de Olavide en España el año 2021. En el artículo se muestra el uso de la tecnología BIM en el Proyecto de Ejecución de un edificio, así como su impacto en el sector de la construcción nacional.

Las conclusiones a las que se arriba son:

- i. Herrera, (2021) señala que “aunque se sigue trabajando con documentos separados (planos, memorias, mediciones, etc.), se trata de un único modelo



BIM quien alimenta los mismos”, disminuyendo de forma considerable las incongruencias que puedan existir en la superposición de las diferentes disciplinas.

- ii. El autor concluye que gracias a la anticipada detección de interferencias y problemas que puedan ejecutarse en la etapa de construcción se obtiene una reducción del presupuesto y mayor control sobre el proyecto (p. 12).

La diferencia del presente antecedente con el estudio que se realizará esta en la población y muestra de estudio, puesto que en se estudiará un material específico de la construcción; la tesis antecedente ejecuta una implementación de la metodología BIM en varias disciplinas.

2.2. Bases teórico-científicas

2.2.1. Área de residencia, tipo de vivienda y material predominante con mayor influencia en la construcción de la región y ciudad del Cusco

El autor Galarza Meza, (2014) expresa que “la realidad en la industria nacional, específicamente el sector de la construcción, es prometedora, y es el principal indicador de crecimiento económico del país, hecho que también es justificado por los índices crecientes de consumo de varillas de acero corrugado y otros materiales de construcción, que dan lugar a la construcción masiva de infraestructuras en general.”

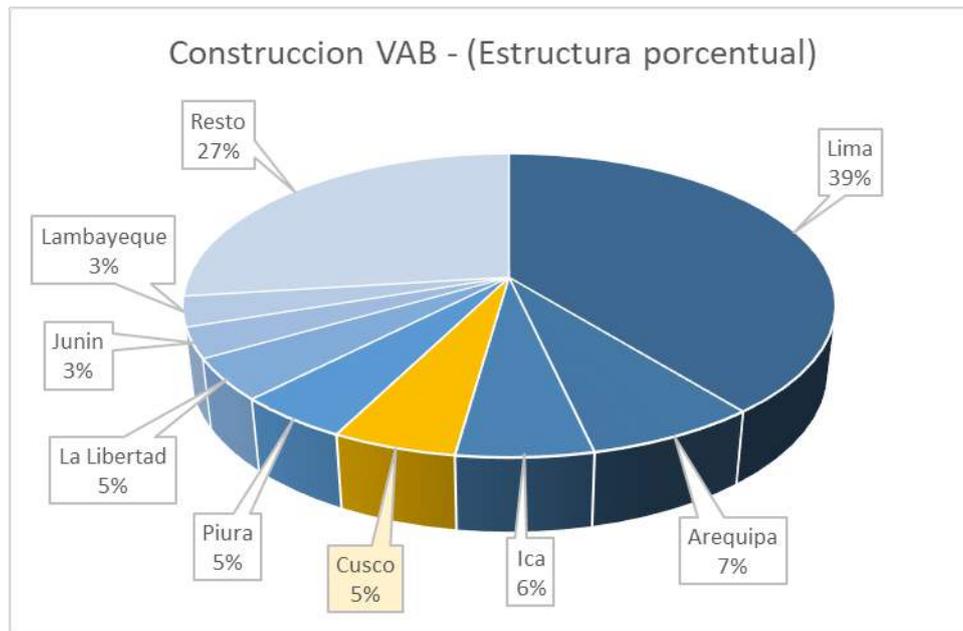
Según el Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI] (2017b), “en el periodo 2007-2016, la actividad construcción, a precios constantes de 2007, registró un crecimiento acumulado de 79,9%, equivalente a una tasa de crecimiento promedio anual de 6,7%. Las mayores variaciones acumuladas se registraron en los departamentos de Apurímac (343,7%), Ica (268,0%) y Huánuco (225,9%), que crecieron a una tasa promedio anual de 18,0%, 15,6% y 14,0% respectivamente” (p. 66).

De igual forma el INEI señala que “este comportamiento es explicado por el mayor impulso en la construcción de obras de agua y saneamiento, y de infraestructura vial, como parte del proceso de descentralización del país. Lima participa con el 39,3% del valor agregado bruto de la actividad construcción, a precios corrientes, le siguen las regiones de Arequipa

(7,2%), Ica (5,7%), Cusco (5,2%) ubicado en cuarto lugar a nivel nacional; Piura (4,8%), La Libertad (4,4%), Junín y Lambayeque tienen una similar participación de 3,2%” ; como se refleja en la figura 2.(INEI, 2017b, p. 67)

Figura 2

Construcción: Valor Agregado Bruto en porcentajes, según departamento 2016.



Nota: La región Cusco ubicado como el cuarto lugar a nivel nacional en la actividad de construcción. **Fuente:** Información adaptada de (INEI, 2017b, p. 66).

En la ciudad de Cusco las construcciones de obras civiles se han incrementado, sobre todo las edificaciones de mediana y gran altura. De acuerdo a estudios realizados por el INEI (2017b), “el sector construcción percibió aumentos del valor agregado bruto durante los últimos nueve años previos al 2016”, como se puede apreciar en la siguiente tabla 3:



Tabla 3

Crecimiento del VAB en miles de soles para el sector construcción en la región Cusco

*Cusco: Valor Agregado Bruto
por Años, según Actividades Económicas
Valores a Precios Corrientes
(Miles de soles)*

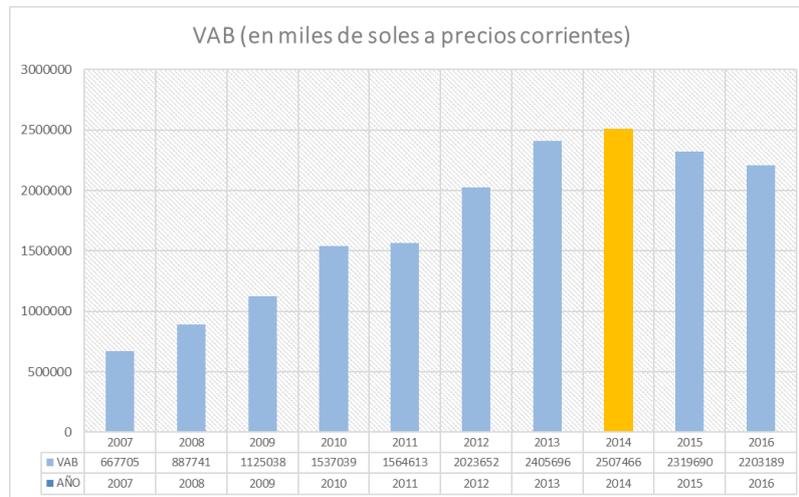
Actividades	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Agricultura, Ganadería, Caza y Silvicultura	908 163	1 158 311	1 338 933	1 299 756	1 692 155	1 680 676	1 660 485	1 574 235	1 515 845	1 587 687
Pesca y Agricultura	770	1 006	960	1 311	1 732	2 906	3 296	1 652	1 909	1 171
Extracción de Petróleo, Gas y Minerales	3 668 080	3 748 816	3 400 169	5 182 907	9 436 104	7 777 297	9 546 844	7 850 817	4 840 544	4 690 815
Manufactura	1 284 624	1 263 250	1 276 214	1 453 787	1 511 342	1 465 784	1 522 305	1 387 476	1 376 061	1 456 701
Electricidad, Gas y Agua	107 295	112 182	119 271	115 747	126 003	136 270	148 891	170 167	281 483	393 413
Construcción	667 705	887 741	1 125 038	1 537 039	1 564 613	2 023 652	2 405 696	2 507 466	2 319 690	2 203 189
Comercio	923 531	1 145 155	1 116 907	1 269 211	1 480 291	1 611 340	1 759 870	1 834 317	1 921 725	2 035 937
Transporte, Almacen, Correo y Mensajería	464 901	533 239	631 957	685 148	781 240	862 928	975 488	1 055 325	1 297 697	1 429 427
Alojamiento y Restaurantes	497 564	588 278	652 673	710 149	854 432	1 004 906	1 163 101	1 305 885	1 443 652	1 588 232
Telecom. Y otros Serv. de Información	164 004	188 472	188 480	202 307	211 059	222 997	240 173	258 337	265 464	273 376
Administración Pública y Defensa	502 169	590 128	660 658	725 710	791 322	849 713	963 940	1 124 554	1 150 519	1 226 938
Otros Servicios	1 724 919	1 865 952	2 059 537	2 192 013	2 395 191	2 659 658	2 939 448	3 236 958	3 598 665	3 934 574

Nota: *En el año 2014 se tuvo el mayor VAB del sector construcción en Cusco. Fuente: Información adaptada de (INEI, 2017b, p. 291).*

Como muestran las cifras, a pesar del descenso que se produjo en el 2015 como se aprecia en la figura 3, el sector construcción experimentó crecimiento en las inversiones a nivel regional. Esto nos refleja que tanto empresas públicas como privadas están constantemente desarrollando proyectos de construcción, los cuales son muy importantes para el desarrollo del país y de la región.(p. 290)

Figura 3

Descenso del sector construcción en el año 2015, VAB en miles de soles.

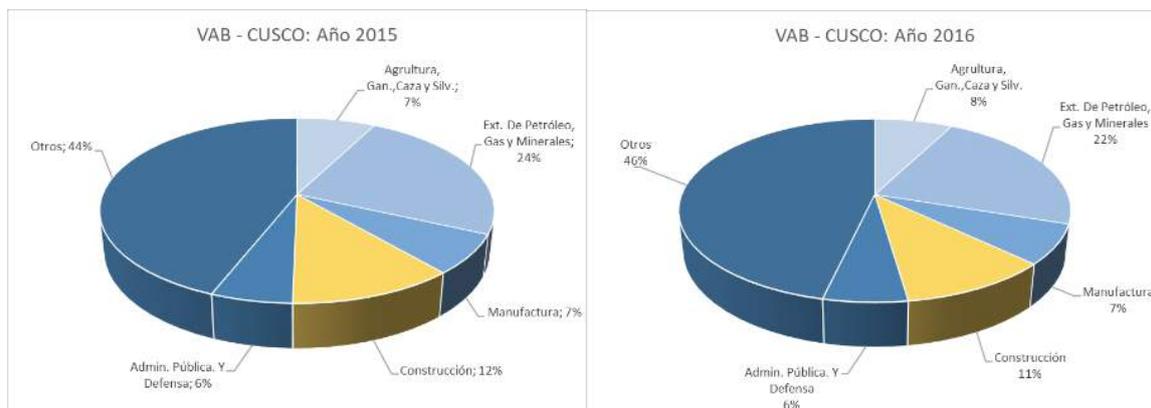


Nota: *En el año 2014 se tuvo el mayor VAB del sector construcción en Cusco. Fuente: Información adaptada de (INEI, 2017b, p. 291).*

Es importante resaltar que *la construcción es la tercera actividad más importante para la región Cusco* luego de la extracción de petróleo, gas y minerales; con una participación del 11.6% en el año 2015 y 10.6% en el año 2016, según el Instituto Nacional de Estadística e Informática, como se muestra en la figura 4 a continuación:

Figura 4

Estructura porcentual de actividades generadoras de VAB en Cusco.

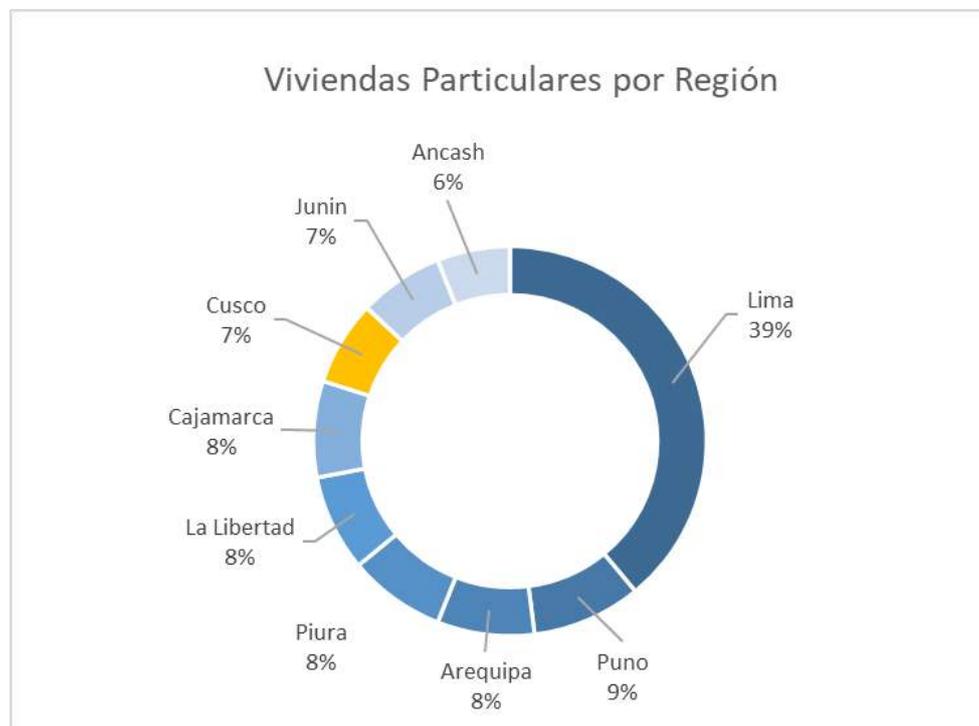


Nota: *La construcción es la tercera actividad de mayor importancia. Fuente: Información adaptada de (INEI, 2017b, p. 292).*

El Instituto Nacional de Estadística e Informática ([INEI], 2017b) indica que a nivel regional, “es importante destacar que el mayor número de viviendas particulares se encuentran en Provincia de Lima (2 millones 607 mil), Puno (605 mil), Arequipa (565 mil), Piura (558 mil), La Libertad (549 mil), Cajamarca (503 mil), Cusco (444 mil), Junín (439 mil) y Áncash (412 mil)”. De este total Cusco representa un 7% junto con la región de Junín, siendo la séptima región con mayor número de viviendas(INEI, 2017b, p. 279), como se aprecia en la figura 7.

Figura 5

Cantidad porcentual de viviendas particulares por región.



Nota: Cusco septima region con mayor cantidad de viviendas. **Fuente:** Información recopilada y adaptada de (INEI, 2017a, p. 279).

En relación al censo del año 2017, “del total de viviendas particulares en el país, 8 millones 763 mil 360 son casas independientes, lo que representa el 86,7% en términos relativos; 820 mil 605 viviendas son departamentos en edificio, que representa el 8,1% siendo el segundo tipo de vivienda más importante a nivel nacional”, según INEI (2017a) como se muestra en la tabla 4:



Tabla 4

Perú: porcentaje de viviendas particulares, según censo tipo de vivienda 2007 y 2017.

Tipo de vivienda	Censo 2007		Censo 2007		Variación Intercensal 2007-2017		Incremento Anual	Tasa de crecimiento promedio anual
	Absoluto	%	Absoluto	%	Absoluto	%		
Total	7566142	100.0	10102849	100.0	2536707	33.5	253671	2.9
Casa independiente	6477401	85.6	8763360	86.7	2285959	35.3	228596	3.1
Departamento en edificio	378926	5.0	820605	8.1	441679	116.6	44168	8.0
Vivienda en quinta	135245	1.8	126308	1.3	-8937	-6.6	-894	-0.7
Vivienda en casa de vecindad	11693	1.5	85780	0.8	-25913	-23.2	-2591	-2.6
Chozo o cabaña	332288	4.4	166374	1.6	-165914	-49.9	-16591	-6.7
Vivienda improvisada	111180	1.5	130932	1.3	19752	17.8	1975	1.6
Local no destinado para habitación	10311	0.1	9474	0.1	-837	-8.1	-84	-0.8
Otro tipo 1/	9098	0.1	16	0.0	-9082	-99.8	-908	-47.0

1/ Comprende cualquier estructura no destinada para habitación humana como cueva, vehículo abandonado u otro refugio natural.

Nota: *Departamento en edificio es el segundo tipo de vivienda mas usual a nivel nacional.*

Fuente: *Información recopilada y adaptada de (INEI, 2017a, p. 286).*

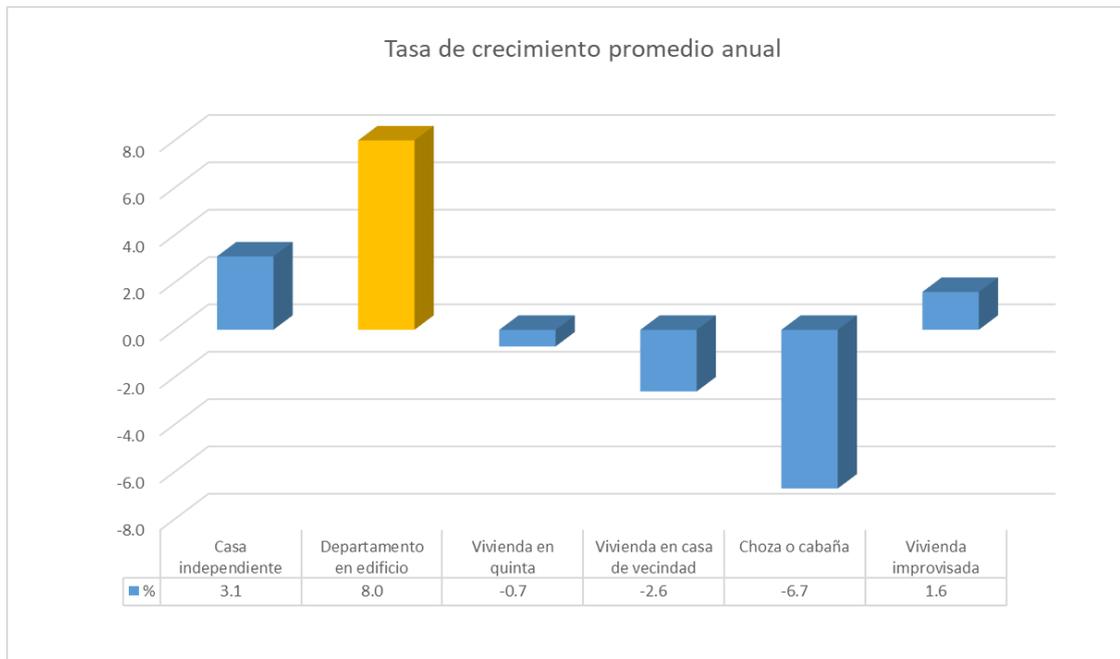
Según área de residencia, el censo 2017, ejecutado por el INEI (2017a), informa que “el mayor aumento de casas independientes se dio en la zona urbana, en 1 millón 900 mil, 830 lo que simboliza un crecimiento del 44,6% en el periodo intercensal, y un acrecentamiento anual de 190 mil 83 viviendas”.

“Un crecimiento de mayor importancia se advierte en la cantidad de viviendas del tipo departamento en edificio que aumenta de 378 mil 213 a 820 mil 324 viviendas, que en términos relativos representa una variación de 116,9% y un incremento anual promedio de 44 mil 211” (INEI, 2017a, p. 287).

Como se observa en la figura 6 el tipo de vivienda con mayor tasa de crecimiento es el de “Departamento en edificio” con 8.0%, a su vez esto representa que se construirán mayor cantidad de edificios multifamiliares en todas las regiones del país.

Figura 6

Tasa de crecimiento anual en porcentaje por tipo de vivienda a nivel nacional.



Nota: El tipo de vivienda “departamento en edificio” es la de mayor tasa de crecimiento a nivel nacional. **Fuente:** Información recopilada y adaptada de (INEI, 2017a, p. 286).

Clasificado por regiones el INEI (2017a) señala que “en el periodo intercensal 2007-2017 la región Lima percibió el mayor crecimiento de viviendas en “departamento en edificio”, este incremento fue de 349 mil 452 viviendas, que en términos relativos significó un 122,2% y Cusco con 12 mil 666 departamentos que en porcentaje representó el mayor de todas las regiones 186,8%”.

2.2.1.1. Estudio en la región y ciudad Cusco.

El estudio realizado por Fondo MIVIVIENDA S.A (2010), la región Cusco tiene una superficie de 71 986,50 km y ocupa el 5,6% de la superficie nacional. Políticamente, está dividida en 13 provincias.

Para el presente estudio es importante mencionar que, los distritos que conforman el casco urbano son: Cusco, San Jerónimo, San Sebastián, Santiago y Wánchaq.

En relación a la población dividida a nivel distrital, Cusco es el más habitado de la ciudad (108,8 mil habitantes). No obstante, el distrito de Wánchaq es el distrito más densamente poblado con 9 268,65 hab/km² como se refleja en la tabla 5, mientras



que la densidad poblacional del distrito de Cusco es de 936,14 Hab/km² (Fondo MIVIVIENDA S.A, 2010, p. 7).

Tabla 5

Población y densidad por distrito en la ciudad del Cusco, en porcentaje.

Distritos	Población		Hogares		Densidad Hab/Km ²
	En miles	%	En miles	%	
Cusco	109	30.4	28	30.5	936.14
San Jerónimo	32	8.8	8	8.7	306.63
San Sebastián	75	20.9	19	20.3	835.33
Santiago	84	23.4	22	23.7	1200.82
Wanchaq	59	16.5	16	16.8	9268.65
Total	358	100	93	100	929.8

Nota: *Wánchaq* el distrito con mayor densidad poblacional. **Fuente:** Información adaptada del Anuario Estadístico Perú en Números 2009 - INEI (citado en Fondo MIVIVIENDA S.A, 2010, p. 7).

Así, en la ciudad de Cusco, los tipos de vivienda que predominan, según la información recopilada por Fondo MIVIVIENDA S.A (2010), “son las casas independientes y las casas en vecindad con un 62,9% y 28,6%, respectivamente. Los departamentos en edificio alcanzan el 4,8%, cuya cifra evidencia la escasa difusión de la propiedad horizontal y las viviendas en quinta representan el 2,8%” (p. 7) como se muestra en la figura 7.

Figura 7

Escala porcentual de tipos de vivienda en la ciudad del Cusco.



Nota: “Departamento en edificio” en es el segundo tipo de vivienda más usual en cusco. **Fuente:** Adaptado de INEI 2007(Fondo MIVIVIENDA S.A, 2010, p. 19).

En el informe ejecutado por el INEI se indica que “de forma desagregada, se observa que el distrito de Wánchaq tiene el mayor porcentaje de viviendas de tipo departamento con 18,8%” como se muestra en la tabla 7 Asimismo, en “los distritos de San Jerónimo y San Sebastián predominan las casas independientes con 83,5% y 84,8%, respectivamente, siendo éstas las participaciones más altas en la ciudad” (p. 19).

Tabla 6

Tipo de vivienda más usual en los distritos de cusco, valor porcentual.

Tipo de Vivienda	Cusco	San Jerónimo	San Sebastián	Santiago	Wanchaq
Casa Independiente	71.3	83.5	84.8	69.2	68.0
Departamento en edificio	6.3	3.2	3.5	3.9	18.8
Vivienda en quinta	7.0	4.8	4.4	4.3	6.2
Casa vecindad	13.9	7.6	6.5	20.2	5.7
Choza o cabaña	0.1	0.5	0.01	1.6	0.0
Vivienda improvisada	0.1	0.2	0.4	0.2	0.2
No destinado	0.1	0.2	0.2	0.1	0.3
Otro tipo particular	0.1	0.04	0.05	0.4	0.1
Hotel, Hospedaje	0.9	0.0	0.1	0.0	0.5
Otro tipo colectiva	0.2	0.01	0.1	0.03	0.1
En la calle	0.05	0.0	0.0	0.01	0.1
Total	100	100	100	100	100

Nota: Wánchaq tiene el mayor porcentaje de viviendas tipo departamento en edificio. **Fuente:** INEI 2007 (citado en Fondo MIVIVIENDA S.A, 2010, p. 19)



A su vez “las características de la vivienda, como tipo de viviendas, materiales del piso, de las paredes, etc. son indicadores relevantes”, dado que dan a conocer la calidad de vida de los habitantes de la ciudad de Cusco.

Según el “Anuario de Estadísticas Ambientales, 2020” realizado por el (INEI, 2020, p. 531) del “total de viviendas particulares existentes en la ciudad del Cusco en la zona urbana el 52.7% de las viviendas son de concreto armado”. Siendo el material predominante para las edificaciones en la ciudad desde el año 2003 al 2019 de forma ininterrumpida con tendencia de crecimiento positiva como se observa en la tabla 7 y figura 8.

Tabla 7

Material predominante en los techos de las viviendas, según área de residencia, 2003 – 2019, valor en porcentaje.

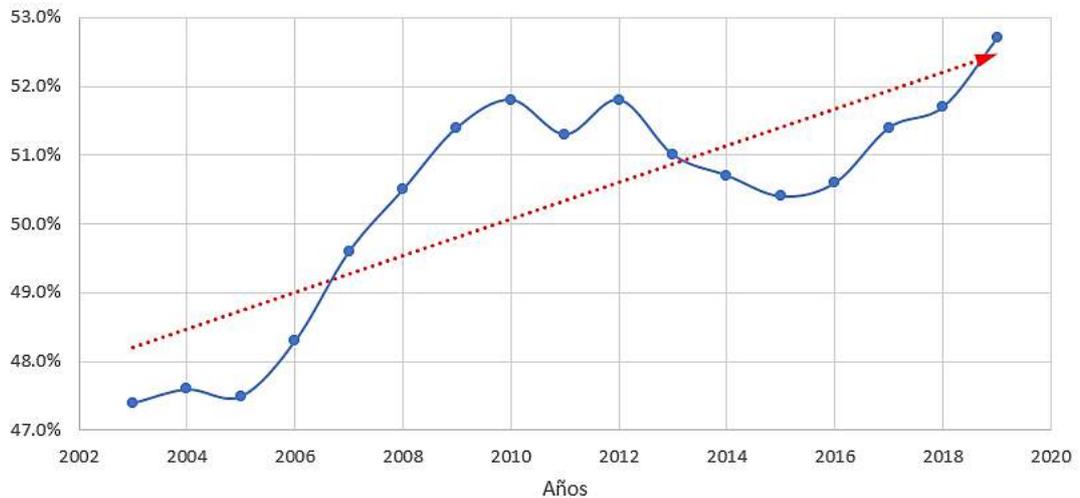
MATERIAL PREDOMINANTE EN LOS TECHOS DE LAS VIVIENDAS, SEGÚN ÁREA DE RESIDENCIA, 2003-2019

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
URBANA	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Concreto Armado	47.4	47.6	47.5	48.3	49.6	50.5	51.4	51.8	51.3	51.8	51.0	50.7	50.4	50.6	51.4	51.7	52.7
Madera	2.1	2.7	2.9	3.0	2.9	3.0	2.9	2.5	2.3	2.3	2.7	3.0	3.0	2.9	2.9	2.7	2.9
Tejas	7.0	6.6	6.5	6.4	5.1	4.5	4.6	4.8	5.2	4.8	4.6	4.6	4.2	4.1	4.1	4.3	4.0
Placha de Calamina	30.0	30.2	30.1	30.2	31.8	31.9	31.9	32.5	33.1	33.7	34.9	35.1	36.3	36.7	36.2	36.3	35.9
Caña o estera con torta de barro	7.1	6.9	7.2	6.7	5.6	4.8	4.6	4.2	4.2	4.4	4.5	4.7	4.4	4.3	3.8	3.9	3.6
Estera	3.7	3.8	3.2	3.1	3.1	2.8	2.3	1.6	1.6	1.5	1.4	1.1	1.1	0.8	0.8	0.7	0.6
Paja, hojas de palmera	1.2	0.9	1.1	0.9	0.9	0.9	0.8	0.7	0.7	0.6	0.5	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1
Otro material	1.5	1.3	1.5	1.4	1.0	1.6	1.5	1.9	1.6	0.9	0.4	0.5	0.3	0.4	0.6	0.2	0.2

Nota: El concreto armado es el material de mayor uso en la zona urbana. **Fuente:** Información recopilada y adaptada de (INEI, 2020, p. 531).

Figura 8

Porcentaje de viviendas de concreto armado en el área urbana de la región Cusco por años.



Nota: *Se observa tendencia creciente al uso de concreto armado en edificaciones del Cusco.* **Fuente:** *Información recopilada y adaptada de (INEI, 2020, p. 531).*

Al aumentar la demanda del sector construcción específicamente con el material predominante (concreto armado), como se vio anteriormente de acuerdo con los datos del INEI (2020, p. 531), también aumentan la cantidad de consumo de recursos para su ejecución como el concreto, acero, encofrado, etc.; que consiguientemente hará que aumente la cantidad de desperdicios generados.

2.2.2. Importancia del acero en obra

La ampliación de la producción y comercialización de acero que se dio en nuestro país en los últimos años, es consecuencia del crecimiento de la actividad económica en general y de los ingresos de todas las familias. El consumo aparente per cápita de acero en Perú, según CAPECO (2019), ha conseguido un crecimiento sostenible “desde el año 2010 alcanzando el quinto lugar en América Latina con un consumo de 96.4 kg/hab. hasta el año 2014, el siguiente año 2015 sube al tercer lugar con 130.2 Kg/hab. y en el año 2016, logra alcanzar el segundo lugar con 120.2 kg/hab. *Manteniendo el segundo lugar en el año 2017 con 133.0 kg/hab*”; es preciso indicar, que desde el año 2010 hasta el 2017, Chile siempre estuvo en el primer lugar con el mayor consumo per cápita.



Tabla 8

Información sobre el consumo aparente per cápita de acero en América Latina (Kg./ Hab.).

País	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Chile	161.1	183.5	199.7	177.8	172.1	181.0	177.1	175.6
Perú	96.4	95.2	103.8	105.8	109.5	130.2	120.2	133.0
Argentina	127.8	146.1	132.6	135.8	132.9	138.0	109.4	126.7
Ecuador	97.4	134.9	114.1	144.4	122.1	123.2	111.8	121.9
Brasil	147.4	145.9	147.2	153.8	139.3	114.9	97.5	101.8
Colombia	68.3	77.6	83.7	92.8	104.2	105.3	94.7	91.4
Uruguay	49.8	68.2	76.8	71.3	69.0	72.6	60.9	53.5
Paraguay	38.2	43.9	38.2	39.6	41.1	39.2	50.6	53.1
Bolivia	12.8	12.9	12.7	54.4	63.7	58.6	62.4	52.3
Venezuela	96.0	109.1	124.0	117.1	82.2	72.9	29.3	19.5
Promedio América Latina	120.9	126.7	128.3	133.8	124.4	114.2	96.8	100.6

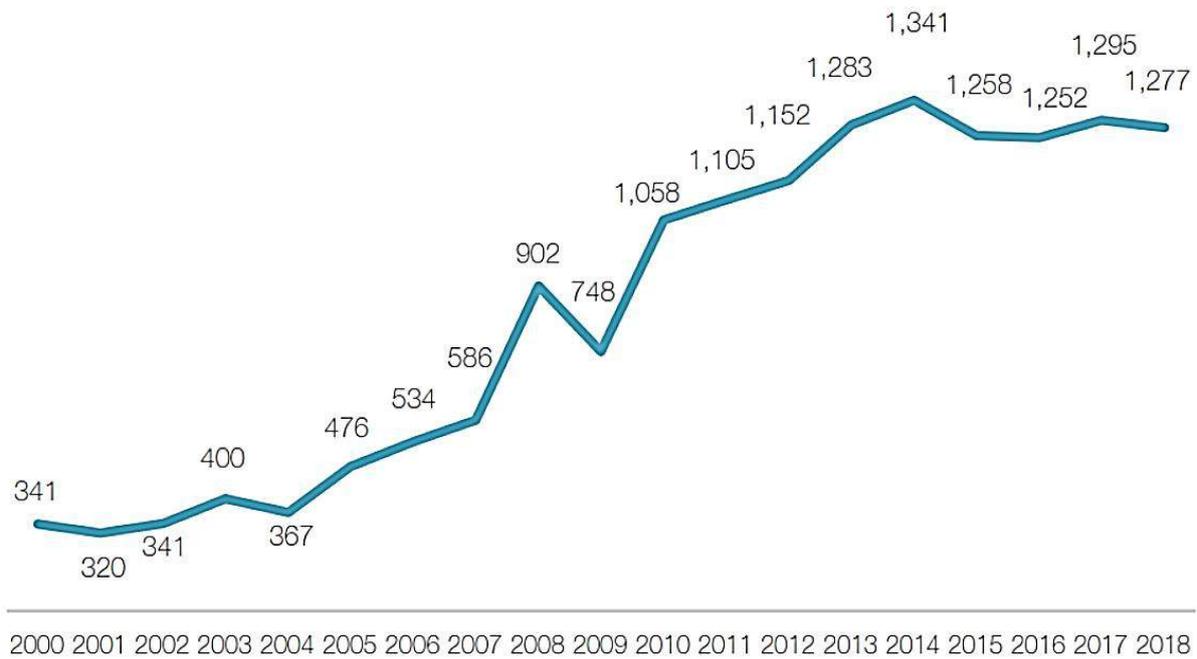
Nota: Perú durante los años 2016-2017 como el segundo mayor consumidor de acero per cápita. **Fuente:** Información recopilada y adaptada de Capeco, *La industria del Acero: ¿Un mercado consolidado?* (2019)

De acuerdo al Informe Económico de la Construcción de CAPECO (2019) en “el caso específico de las barras de acero para construcción en nuestro país, desde el 2000 al 2018 el consumo aparente se triplicó, registró 3.7 veces, al pasar de 341 mil toneladas a 1 277 mil toneladas, creciendo a una tasa promedio anual de 7.6%, alcanzando el nivel más alto de la última década en el año 2014, cuando se registró 1 341 mil toneladas”.(p. 55)



Figura 9

Consumo aparente de barras de acero para la construcción 2000-2018 (en miles de toneladas).



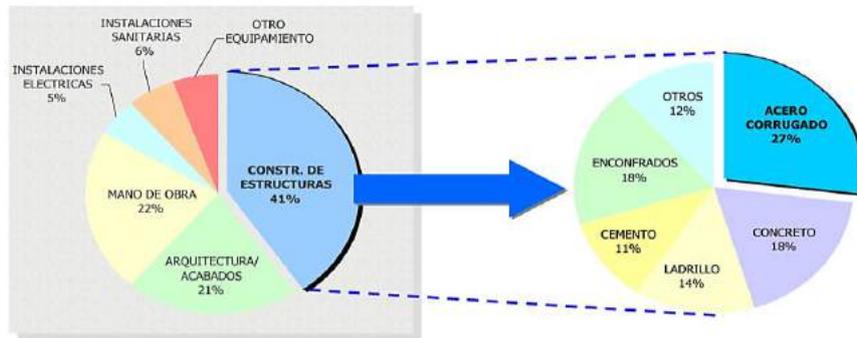
Nota: Desde el 2000 al 2018 el consumo aparente de barras de acero se triplicó **Fuente:** Información del consumo aparente de barras de acero, INEI y SUNAT, (citado en CAPECO, 2019).

El costo del acero corrugado en las obras de edificaciones residenciales representa el 11% del costo directo del proyecto, considerándose dentro de los materiales con mayor costo e incidencia dentro del presupuesto según una investigación realizada por Aceros Arequipa, (2009).



Figura 10

Importancia del acero en obra, valor porcentual del costo directo de obra.



Nota: Las estructuras del proyecto representan el 41% del costo directo del mismo, y el acero corrugado es el 27% de este costo. Concluyendo que el acero simboliza el 11% del costo directo total del proyecto. **Fuente:** Información sobre la importancia del acero en obra, estudio encargado por Aceros Arequipa, tipo de obra: Viv. Multifamiliar de 8 pisos con 4 departamentos de 90 m² Sistema A porticado, (Aceros Arequipa, 2009).

“En la etapa de habilitado de acero, se producen miles de cortes en varillas de acero corrugado, es en estas operaciones tradicionales de corte donde no existen mayores herramientas de control de mermas y/o eficiencia que sugieran como manejar las diferentes longitudes y cantidades de varillas, de modo que podamos conocer de antemano cuáles serán las mermas reales de corte y por ende la eficiencia del proceso de corte de acero corrugado”; así lo indica Aceros Arequipa, (2009).

2.2.3. *Computo de material según norma de metrados*

Salazar Ramos (2003) en su libro “Costos y Presupuestos en Edificación” nos indica que en la práctica, “no existe ingeniero metrador o estimador que no haya tenido que elaborar algunos estudios de costos de los proyectos en el ámbito de la construcción, pero debe de reconocerse que en muchos casos los presupuestos han estado o están llenos de errores, conceptos, omisiones, dispersiones y confusiones de datos, que recién pueden apreciarse cuando lo hacen evidentes durante el propio proceso constructivo, cuando los mayores costos reales y las consiguientes pérdidas ya son inevitables”(Salazar Ramos, 2003)



El objetivo primordial de su libro es que los “profesionales, estudiantes y personas interesadas utilicen estos conocimientos fundamentales y necesarios para poder elaborar un presupuesto de obra empleado criterios técnicos para la formulación del mismo en obras de edificación del ámbito de la construcción”.(p. 4)

Metrado para Concreto Armado. – El Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento [MVCS] en el reglamento nacional de metrados señala que “la obra de concreto armado, compuesta por la fusión del concreto con la armadura de acero, comprende en su ejecución una estructura temporal y otra permanente”(MVCS, 2006). La estructura momentánea es el encofrado de aplicación provisional, que tiene por fin contener la masa del concreto en la primera fase de endurecimiento y la segunda se refiere a la obra concluyente, en la cual participa el cemento, agregados, agua, armadura de acero y para el caso específico de losas aligeradas, el ladrillo hueco, agregándose eventualmente aditivos con diferentes fines (MVCS, 2010).

Así mismo la norma señala que “para cada elemento distinto de concreto se indicará su calidad que se habitúa fijar mediante la resistencia o la rotura ($f'c$) en cilindros a los 28 días. En el caso de proyecto de estructuras compuestas con diferentes elementos integrados en un único conjunto, puede nombrarse por ejemplo, cisternas, cisternas subterráneas, tanques elevados, escaleras, pórticos, etc.; el cálculo correspondiente se efectuará por separado por cada uno de sus elementos integrantes, los mismos que sumados, finalmente, se agruparán en las partidas de concreto, encofrado y armadura de acero”.

El MVCS (2010) formula como norma general de encofrados, “el área efectiva se computa, midiendo el desarrollo de la superficie del molde o encofrado en contacto con el concreto, con excepción de losas aligeradas, donde se medirá el área completa de la losa, que incorpora la superficie del ladrillo hueco. Los encofrados “cara vista” se calculan por separado de los encofrados corrientes”.

“Para la armadura de acero se computa el peso total del fierro indicado en los planos; el cálculo se hará determinando primeramente la longitud de cada uno de los elementos incluyendo los ganchos, dobleces y traslapes de varillas”. Posteriormente se suma todas las longitudes agrupándose por diámetros iguales y se multiplican los resultados obtenidos por sus pesos unitarios correspondientes, formulados en kilos por metro (kg/m) (MVCS, 2010, p.32).

Por último, se obtendrá el peso total de la armadura de acero en kilos sumando los pesos parciales de cada diámetro diferente. “El cálculo de la cantidad de la armadura de acero; no incluye los excedentes de las barras (desperdicios), alambres, espaciadores, suplemento de



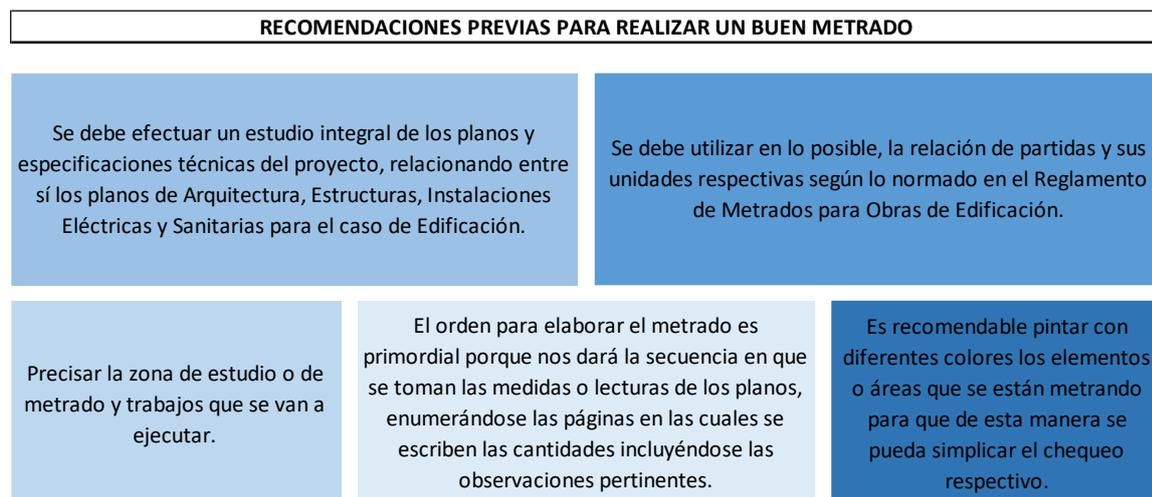
apoyo ni desperdicios, los que deberán ir como integrante de los análisis de precios, los que incluyen a su vez el proceso de habilitación, corte y doblado y ensamblamiento de la armadura”.

A su vez el MVCS (2010) indica que “los ladrillos y bloques huecos que se emplean como unidades de relleno en las losas aligeradas, se computarán por unidades o millares de unidades, por lo general la cantidad de estos es proporcional a la superficie de encofrado, sin embargo debe deducirse en el caso de viguetas con ensanches de concreto en los costados o de sección diferente a la típica” (MVCS, 2010, p. 32).

Ejecutar un Metrado Correcto en los proyectos es primordial para no generar desperdicios y calcular presupuestos ajustados a la realidad, para realizarlo CAPECO mediante el autor (Salazar Ramos, 2003) nos brinda 5 sugerencias (p. 10) mencionadas en la figura 11.

Figura 11

Recomendaciones previas para realizar un buen metrado según CAPECO.



Fuente: Información adaptada de CAPECO, (Salazar Ramos, 2003, p. 10).

2.2.4. Porcentaje de desperdicio del acero

Para el término “desperdicio” se encuentran tres destacados conceptos; según Ghio, citado en Peñafiel Yagual (2017), lo define como: “toda aquella actividad que cuesta, pero no le agrega un valor al producto final”.(p. 7)

Formoso (como se citó en Galarza Meza, 2014, p. 8). lo define como: “Toda ineficiencia que se refleja en el uso de equipos, mano de obra y materiales en cantidades mayores a aquellas necesarias para la construcción de una edificación”.



Un concepto más general es el presentado por Conway Quality Inc (citado en Flores Flores, 2015) donde propone que desperdicio es: “La diferencia entre las formas como las cosas se hacen ahora y la forma como podrían ser hechas si todo fuera perfecto”.(p. 11)

Dentro de la literatura nacional el desperdicio teórico considerado para metrado de acero únicamente, según CAPECO, elaborado por el ingeniero Salazar Ramos (2003) en “Costos y Presupuestos en Edificación”, varía según el diámetro de la varilla (p. 74) como se ve en la tabla 9.

Es importante indicar que este libro de CAPECO nos da a entender que “*los análisis de costos que se presentan deben de adaptarse, al momento de su utilización, a los diferentes tipos de obra y a las características de cada una de ellas, teniendo en consideración aspectos tales como: costos de materiales, mano de obra y equipo a utilizar, lugar y tiempo de ejecución entre otros*”.

Tabla 9

Porcentaje de desperdicios de materiales de obra; CAPECO, 200.

Descripción	% Desperdicio Promedio
Mezcla para concreto	5
Mortero	10
Ladrillo para muros	5
Losera para pisos	5
Mayólicas	5
Clavos	15
Madera	10
Acero de Refuerzo	
Ø 3/8"	3
Ø 1/2"	5
Ø 5/8"	7
Ø 3/4"	8
Ø 1"	10

Nota: *Los porcentajes de desperdicio para el acero varían según el diámetro. Fuente:* Información tomada de CAPECO- Salazar Ramos, (2003, p. 74).

En la literatura internacional el autor Lucio Soibelman (2000), en su tesis de maestría realizada en Brasil, dedico su tiempo al cálculo de porcentajes de desperdicios para el mejor manejo de recursos en las obras de edificación. Su estudio fue realizado en edificios con un



número de pisos que esta entre seis a doce, con una superficie de 2000 m² a 6000m² y cuyo uso era residencial excepto uno que era comercial. Centrándose las pequeñas compañías constructoras las cuales forman el 96% de la industria constructora brasileña.

Dentro se los resultados expuestos para el caso del acero se obtuvo una gran dispersión de resultados, que va desde 7% hasta un 27% de desperdicio. Destaca que el promedio (17%) está cerca del valor que sugieren los libros en Brasil, lo cual no se identifica como un gran problema. Sin embargo, hace énfasis en que el problema real es encontrar la razón por la cual algunos lugares tienen 7% de desperdicio mientras otros tienen un 27%.(Soibelman, 2000)

El mismo autor “observo que en ninguno de los lugares se manejaban procedimientos especiales para los cortes del acero, simplemente cortaban y tampoco tenían control en la medición de los cortes”.

2.2.5. Clasificación del desperdicio de materiales

A continuación, en la tabla 10, se detallan los ocho tipos de desperdicios en el área de trabajo según los presenta Pons Achell (2014) en el libro “Introducción a Lean Construction” (p. 19)



Tabla 10

Tipos de desperdicios en la industria de la construcción, según LEAN.

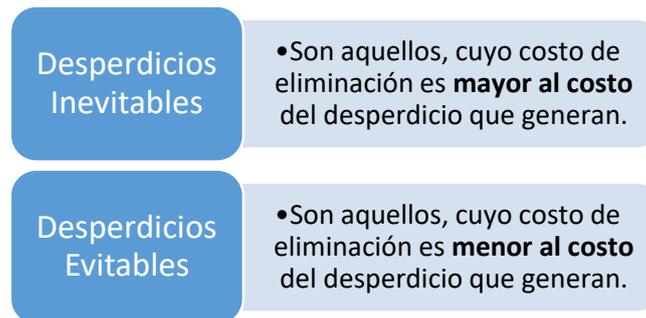
DESPERDICIOS EN EL ÁREA DE TRABAJO		
N°	Desperdicios	Descripción
1	Sobre producción	Producción de cantidades de material más grandes que las requeridas o antes del tiempo previsto para el inicio de la actividad
2	Esperas o tiempo de inactividad	Considera cualquier actividad en el que el valor no puede ser agregado debido al retraso.
3	Transporte innecesario	Transporte innecesario relacionado con el movimiento interno de los recursos en la obra. Sus principales consecuencias son: pérdida de horas de trabajo, energía, espacio en la obra y la posibilidad de pérdidas de material durante el transporte.
4	Sobre procesamiento	Procesos adicionales en la construcción o instalación de elementos que causan el uso excesivo de materia prima, equipos, energía, entre otros.
5	Exceso de inventario	Inventarios excesivos, innecesarios o antes de tiempo que conducen a pérdidas de material, personal adicional para gestionar ese exceso de material y costes financieros por la compra anticipada.
6	Defectos de calidad	Errores en el diseño, mediciones y planos, uso de métodos de trabajo incorrectos, mano de obra poco cualificada. Las dos consecuencias principales de la mala calidad son: la repetición del trabajo y la insatisfacción del cliente.
7	Del propio proceso	Movimientos innecesarios o ineficientes realizados por los trabajadores durante su trabajo. Esto puede ser causado por la utilización de equipo inadecuado, métodos de trabajo ineficaces, falta de estandarización o mal acondicionamiento del lugar de trabajo.
8	Talento	Se pierde tiempo, ideas, aptitudes, mejoras y se desperdician oportunidades de aprendizaje de conseguir altos rendimientos por no motivar o escuchar a los empleados y por tener una mano de obra poco calificada.

Fuente: *Adaptado de la información de desperdicios del área de trabajo (Pons Achell, 2014, p. 19).*

Skoyles & Skoyles citados en Rodríguez et al. (2018, p. 2) presentan una alternativa a esta clasificación, “*plantean paralelamente dividir a los desperdicios en función a la capacidad de las empresas constructoras para minimizarlos, si bien es cierto esta característica es relativa, resulta importante al momento de evaluar la posibilidad de mejorar procesos, los desperdicios entonces pueden conocerse como evitables o no evitables*” (figura N°12).

Figura 12

Desperdicios Inevitables y evitables.

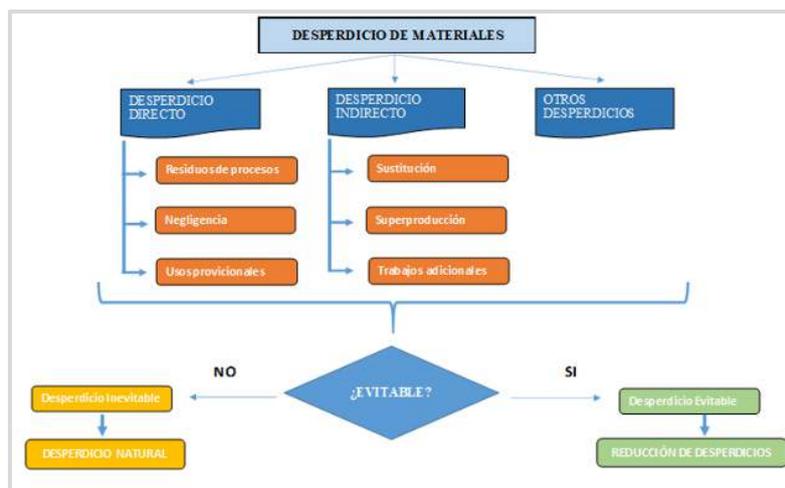


Fuente: Información adaptada de Stokyles & Stoyles ,1997.

La Clasificación según Galarza Meza (2014, p. 13) es mostrada en la figura 13:

Figura 13

Clasificación de los desperdicios de materiales



Fuente: Información tomada sobre la Clasificación de los Materiales y adaptada sobre los desperdicios de los materiales sean evitables o inevitables de Galarza Meza (2014).



Donde clasifica a los desperdicios en tres grandes categorías:

- Desperdicio Directo: Son los residuos de materiales que se eliminan de la obra como desmonte.
- Desperdicio Indirecto: Son aquellos componentes que se incluyen en la obra sin que se indique en los documentos técnicos del proyecto.
- Otros Desperdicios: Aquí se presentan los provocados por motivos extraordinarios como robo, vandalismo, etc.

El desperdicio directo se fracciona en tres subcategorías. La primera categoría se titula residuos de proceso y se hace referencia a todo aquel material restante que provocan los procesos constructivos, como ejemplo se pueden mencionar los restos de ladrillo que se provocan al cortar las unidades para armar el muro, los restos de mortero que sobran al terminar la jornada porque se preparó material desmesurado, etc. (Galarza Meza, 2014, p. 13)

En segundo lugar, están las pérdidas directas por negligencia, esta consideración se refiere a todo el material que es desperdiciado a causa de una práctica defectuosa en su manejo, como cemento que se daña por almacenarlo en ubicaciones húmedas o ladrillos rotos por apilarlos de manera imprudente. Por último, se tiene el material desperdiciado debido a usos provisionales, son todos aquellos materiales que se pierden a causa de que no se encuentran cumpliendo las respectivas funciones para las que son diseñadas, este caso lo reflejan las unidades de albañilería que se usan de cómo bancos, los encofrados que se utilizan como mesa, etc.

El desperdicio Indirecto por su parte, también tiene tres subcategorías. La primera se designa desperdicio indirecto por sustitución, se presenta cuando se emplea un material de mayor calidad para sustitución de otro, sin un fin técnico. Un ejemplo clásico es utilizar acero de ½” en lugar de 3/8” a causa de que el material se ha agotado en obra y no es posible esperar a la llegada de una nueva entrega (p. 14).

El autor Galarza Meza (2014) indica que “también existe el desperdicio indirecto por superproducción, esta situación se da cuando se fabrica un producto final de dimensiones mayores a las solicitadas por la documentación técnica (tarrajeo de mayor grosor, vaciado de concreto de más espesor, malla de acero armada con una separación inferior, etc.)”. Además, hay que considerar a los desperdicios debido a trabajos adicionales. Son “gastos de recurso que se generan por actividades que no se consideraron desde un principio en el proyecto pero que



sin embargo son necesarias ejecutar para completar los trabajos demandados. Dentro de este punto se contabilizan a los retrabajos, resanes, etc.”(Galarza Meza, 2014, p. 14)

2.2.6. Principales causas del desperdicio de materiales

En la investigación presentada en su libro “Productividad en obras de construcción Diagnostico, critica y propuesta”, Ghio (como se citó en Galarza Meza, 2014, p. 15) presenta una serie circunstancias que pueden afectar la productividad de las obras:

- a) “Cuadrillas sobredimensionadas: Cuando se hace uso de más cantidad de personal que lo necesario causa que no todos los integrantes del equipo de trabajo desempeñen su máxima capacidad, así mismo conlleva a indiferencia con el cuidado de los materiales y equipos”.
- b) “Falta de supervisión: El control ineficiente sobre la mano de obra puede traducirse en bajos rendimientos del personal. Asu vez implica un uso indebido de recursos como materiales y equipos (especialmente cuando han sido subcontratados)”.
- c) “Deficiencias en el flujo de materiales: Se traduce en pérdida de tiempo y falta de control en la cantidad y calidad de materiales que serán trasladados a la zona de trabajo, a su vez se subutilizan equipos de manera inadecuado para el traslado de materiales cuando esta operación no ha sido planeada eficientemente”.
- d) “Mala distribución de instalaciones en obra: Hace referencia a los obstáculos que se cruzan en el recorrido del personal para el acarreo de material o un diseño ineficiente con respecto a la ubicación de elementos claves como sanitarios, almacén, etc”.
- e) “Actitud del trabajador: Una buena disposición de los trabajadores para ejecutar sus tareas es un factor clave ya que en última instancia son ellos los que utilizan los recursos dispuestos en la obra (tiempo, materiales, equipos)”.
- f) “Falta de manejo en campo: Mala coordinación de la ocupación de cuadrillas puede provocar un cruce de actividades de dos o más equipos diferentes, una mala distribución de materiales, ejecución de trabajos no planificados, etc”.
- g) “Mala calidad: Generadora de imperfecciones que se convierten en retrabajos o correcciones”.



- h) “Deterioro de trabajos ya realizados: Para refabricar un producto se vuelve a consumir un recurso que ya se encontraba listo, y que fue deteriorado por negligencia en su momento”.
- i) “Cambios en los diseños: Cuando los cambios no se informan con un lapso de tiempo significativo no permiten un buen planeamiento para su ejecución, lo que ocasiona desperdicio por mal manejo de los materiales. Puede ser también que la nueva información proporcionada no esté completa”.
- j) “Falta de programación y control en el uso de los equipos: Esto produce un mal uso de los recursos dejando de lado aportar en beneficio del flujo de todo el proyecto y priorizando en muchos casos ciertas actividades específicas”.
- k) “Trabajos lentos: Mayormente originados por una excesiva manipulación de equipos y materiales, así como también demoras producidas por los propios trabajadores en sus actividades”.
- l) “Falta de diseño de los procesos constructivos: Provocado por las diferentes circunstancias que se dan entre los diferentes proyectos que no son considerados con anticipación para iniciar los trabajos”.

La universidad Politécnica de Hong Kong, citada por Galarza Meza (2014), por su parte, “desarrolló un estudio cuantitativo sobre las principales causas del desperdicio de materiales mediante el análisis de 32 obras (p. 18), en las cuales mantuvo estudiantes asignados en permanente observación, luego de compilar la información levantada se obtuvo el siguiente cuadro resumen”:



Tabla 11

Causa de los desperdicios de los materiales del acero, valor en porcentaje.

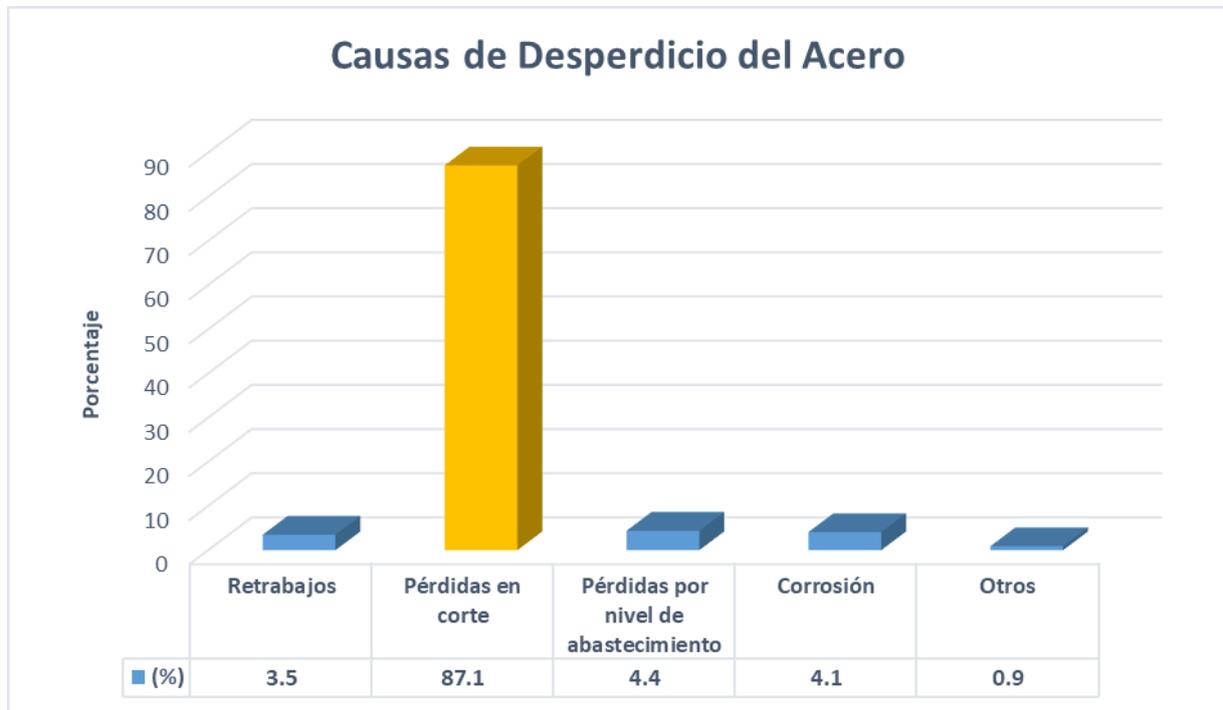
Causas	Concreto premezclado (%)	Acero (%)	Yeso/Cemento (%)	Ladrillos (%)	Cerámicas (%)
<i>Pedidos en exceso</i>	51.2			14.6	10.7
<i>Pérdidas durante el vaciado</i>	22				
<i>Fisuras de encofrado</i>	8.4				
<i>Trabajo temporales</i>	7.8				
<i>Retrabajos</i>	5.2	3.5			
<i>Pérdidas en corte</i>		87.1		39.6	40
<i>Pérdidas por nivel de abastecimiento</i>		4.4		11.1	29.3
<i>Corrosión</i>		4.1			
<i>Producción excesiva</i>			58.8		
<i>Pérdidas durante la aplicación</i>			19.4		
<i>Almacenamiento</i>			11.2		
<i>Pérdidas durante asentamiento</i>				18.9	
<i>Pérdidas durante el transporte</i>				15.8	
<i>Cambios en el proyecto</i>					12.9
<i>Otros</i>	5.4	0.9	10.6		7.1
TOTAL	100	100	100	100	100

Nota: *La mayor causa de desperdicio del acero en obras es por pérdidas en corte. Fuente:* Información recopilada y adaptada de la Universidad Politécnica de Hong Kong (citado en Galarza Meza, 2014, p. 18).

Según las causas de desperdicios de materiales realizada por la universidad de Hong Kong, para el acero podemos notar que el mayor porcentaje de desperdicio es generado por pérdidas en corte.

Figura 14

Causas del desperdicio de Acero, grafico de barras en porcentaje.



Nota: El 87.1% de los desperdicios del acero son causados por pérdidas en corte. **Fuente:** Universidad Politécnica de Hong Kong.

2.2.7. Proceso de habilitado de acero convencional

La producción del habilitado de las piezas de acero es “una actividad que antecede a la colocación del encofrado y el vaciado del concreto, consiste en el despiece de las barras de acero, a través de cortes y doblado, en base al requerimiento para el armado de elementos estructurales. Hoy en día a nivel nacional, se pueden encontrar dos métodos de fabricación, el primero y más difundido es el método tradicional y el otro es el método industrializado” (Castro Atau, 2010, p. 66).

Este proceso de manera convencional se realiza de la siguiente manera, dividiéndose en tres etapas:

Figura 15

Proceso convencional de habilitado de acero, etapas y procesos.

Abastecimiento		Habilitación		Colocación	
Ingeniería	Recepción	Corte	Doblado	Armado	Colocación
					
Planos de Est. Final	Conteo	Armado banco	Información	Información	Traslado
<u>Ing. de Detalle</u>	Descarga	Información	Búsqueda	Búsqueda	Colocación
Metrados	Traslado	Búsqueda	Traslado	Traslado	Valorización
Presupuesto	Almacenado 1	Traslado	Medición	Medición	
		Medición	<u>Doblado</u>	Armado	
		<u>Cortado</u>	Inspección	Almacenado 4	
		Almacenado 2	Almacenado 3		

Nota: En la presente tesis se analizan la ing. de detalle, el proceso de corte y el proceso de doblado. **Fuente:** Información adaptada de (Aceros Arequipa, 2009).

2.2.7.1 Equipos y herramientas.

En la tabla, se detallan los equipos y herramientas, comúnmente usadas en el método tradicional.



Tabla 12

Equipos y herramientas para el habilitado de acero convencional.

Equipos y Herramientas	Uso:
Amoladora angular	Corte de fierro de diferentes diámetros
Plomada	Verificar la verticalidad de las armaduras
Wincha	Medir los aceros, para trazar, cortar, colocar, etc.
Sierra	Cortar aceros
Escantillon	Marcar sobre el acero, para la ubicación de los estribos
Tortol	Amarrar los aceros o estribos
Tubo	Doblar aceros para habilitado
Escuadra	Verificar la horizontalidad y verticalidad de armaduras
Trampa	Sujetar el acero, ya sea para doblar o cortar
Grifa	Doblar aceros según necesidad
Mesa	Operaciones de doblado y corte sobre ella
Combo y martillo	Alinear los aceros
Tira línea	Marcar el lugar de cortes, doblado y ubicación de armaduras
Guantes de Cuero	Equipo de seguridad
Zapatos de seguridad	Equipo de seguridad
Casco de seguridad	Equipo de seguridad
Protector: facial, de ojos y oídos	Equipo de seguridad

Fuente: *Información adaptada de “Evaluación del sistema de despiece de aceros ASTM-A615 en edificaciones en la ciudad de huancayo” - (Castro Atau, 2010, p. 66), información adaptada.*

2.2.8. Procesos en análisis

El presente trabajo de investigación tiene énfasis en analizar minuciosamente tres de los procesos (señalados en el índice 2.2.7), que forman parte del habilitado de acero:

2.2.8.1. Ingeniería de detalle constructivo.

El autor Yober Castro Atau (2010) señala que “en la construcción, los planos de diseño para estructuras se presentan como Planos de Conjunto y Planos de Detalles”.



Los Planos de Detalle deben contener, según Castro Atau (2010), “todos los antecedentes de las armaduras. Por lo cual es recomendable que muestren los elementos en planta con sus vistas de elevaciones y vistas de cortes correspondientes; todos los que sean necesarios para una presentar una mejor visualización e interpretación de las formas de armadura y ubicaciones”. *Su objetivo es disminuir las interferencias y aclarar todas las interrogantes para obtener un metrado más preciso* (Castro Atau, 2010, p. 58). Es en esta etapa del proceso donde conviene invertir más tiempo en detallar la estructura, puesto que un cambio durante esta etapa, aún de diseño y proceso de análisis de constructibilidad, es más económico que un cambio durante la etapa de ejecución.

2.2.8.1.1. Sistema de despiece de acero.

Consiste según Aceros Arequipa en “el despiece de las barras de acero, mediante cortes, según el requerimiento para el armado de elementos estructurales”. El autor Castro Atau, (2010) señala que “actualmente a nivel nacional, se distingue dos sistemas de despiece del acero corrugado, el primero y más difundido es el método tradicional (convencional) basado en experiencia empírica y facilidades de obra; y el otro es el método industrializado (dimensionado) el cual hace uso de iteraciones que den como resultado el mínimo desperdicio posible para una varilla de longitud comercial”.

2.2.8.1.2. Longitudes mínimas de gancho.

El término gancho estándar se emplea en Reglamento Nacional de Edificaciones (MVCS, 2006, pág 39) con uno de los siguientes significados:

- “Un dobléz de 180° más una extensión de 4 db, pero no menor de 65 mm hasta el extremo libre de la barra”.
- “Un dobléz de 90° más una extensión de 12 db hasta el extremo libre de la barra”.
- Para ganchos de estribos y ganchos de grapas suplementarias el MVCS (2006) indica lo siguiente:

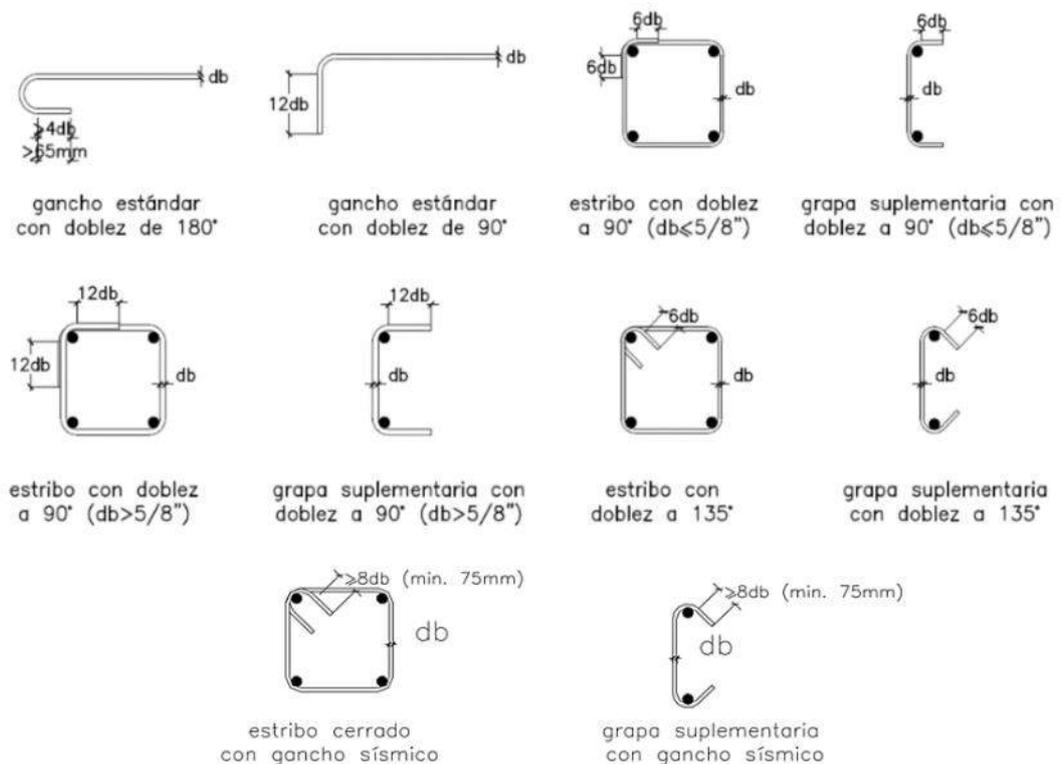


- (a) “Para barras de 5/8 de pulgada y menores, un dobléz de 90° más una extensión de 6 db al extremo libre de la barra”; o
- (b) “Para barras desde 3/4 de pulgada hasta 1 pulgada inclusive, un dobléz de 90° más una extensión de 12 db al extremo libre de la barra”; o
- (c) “Para barras de 1 pulgada y menores, un dobléz de 135° más una extensión de 6 db al extremo libre de la barra”.

- “Los ganchos de los estribos y grapas suplementarias para elementos con responsabilidad sísmica” se definen en el 21.1 de capítulo E.060 del RNE. (MVCS, 2006, p. 39).

Figura 16

Longitudes mínimas de gancho estándar y sísmico según norma E.060.



Nota: *Nótese la diferencia entre un estribo de responsabilidad sísmica y estándar.*

Fuente: *Información adaptada del reglamento nacional de edificaciones E.060, capítulo 7, ítem 7.1.*



Tabla 13

Longitudes mínimas de gancho según norma E.060.

Elemento	Diámetro de Barra (db)	Angulo de Doblez	Longitud Mínima de Gancho	
Ganchos estándar de barra	1/4" a 1" _ +"	180°	4 db ≥ 75 mm	
		90°	12 db	
Gancho de estribos y ganchos de grapas suplementarias	1/4" a 5/8"	90°	6 db	
		135°	6 db	
		3/4" a 1"	90°	12 db
			135°	6 db
Estribos con gancho para accion sísmica	3/8" a 1 3/8" _ +"	135° _ +°	8 db ≥ 75 mm	

Fuente: *Informacion adaptada del reglamento nacional de edficcaciones E.060, capítulo 7, ítem 7.1.*

2.2.8.2. Corte de barras.

Las normas y del autor Yober Castro Atau (2010) señalan que “los cortes de las barras deben efectuarse en frío, siempre con la cortadora en ángulo recto respecto al eje longitudinal de las barras, y de acuerdo a los largos ordenados en los planos”. A su vez indica que “la longitud de las barras tiene que ajustarse a la necesaria para que después de doblada y elaborada según los planos”, la armadura cumpla con las tolerancias señaladas por la norma. Con anterioridad de empezar los trabajos de habilitación, es recomendable tener listo las hojas de despiece a partir de los planos de estructuras finales.

2.2.8.2.1. Tolerancia de corte.

Por los estudios avanzados del autor Castro Atau (2010), “se resuelve que dentro de la normativa peruana no se encuentra información sobre la tolerancia de corte para las barras de acero de construcción, sim embargo en cuanto a las tolerancias de corte que son aceptadas y recomendadas (p. 67) por el Instituto Americano del Concreto (ACI), se pueden resumir en la tabla siguiente.



Tabla 14

Tolerancias de corte de varillas según ACI.

Tipo de Barra	Diámetro (mm)	Diámetros comerciales Aprox (pulg.)	Tolerancias (mm)
Barras rectas	8 a 36	3/8" - 1 1/4"	Extremo-Extremo +/- 25 mm
Barras con ganchos y dobleces	8 a 22	3/8" - 3/4"	Extremo-Extremo de los ganchos +/- 12 mm
Barras con ganchos y dobleces	25 a 36	1" - 1 1/4"	Todo el alto, o parte de la barra +/- 25 mm
Barras con ganchos y dobleces	8 a 36	3/8" - 1 1/4"	Todo el alto, o parte de la barra +/- 12 mm
Espiral o amarra circular	8 a 25	3/8" - 1"	Dimensiones Extremas-Extremas +/- 12 mm
Estribos	8 a 25	3/8" - 1"	Dimensiones Extremas-Extremas +/- 12 mm

Nota: La tolerancia mínima es de 1.2 cm y máxima de 2.5 cm. **Fuente:**

Informacion adaptada de la norma ACI 315-99 citada en Castro Atau, (2010).

2.2.8.3. Doblado de barras.

Según el autor Castro Atau, (2010) “el doblado de barras tiene por objetivo dar la forma concluyente a los refuerzos, esta actividad es muy importante debido a que las tolerancias totales de posición de los aceros dependerán de sus formas y de las medidas de los estribos, debiéndose ejecutarse con la mayor precisión posible”. De igual manera el autor señala que “tiene que evitarse crear tensiones desmesuradas en el refuerzo, se recomienda que las barras no deben estar demasiado dobladas ni bruscamente, para ello se establecen los diámetros mínimos de doblado, calculados interiormente y se encuentra en función del diámetro de la barra (db)”.

La recomendación tanto para métodos industriales y tradicionales de doblado es que, “todo refuerzo deberá doblarse en frío, y el refuerzo parcialmente embebido dentro del concreto no deberá doblarse, excepto cuando así se indique en los planos de diseño o lo autorice el ingeniero proyectista, ni permitiéndose el redoblado del refuerzo”(MVCS, 2006).



2.2.8.3.1. Diámetros mínimos de doblado.

Según el RNE, “los diámetros de doblado para las barras con ganchos estándar, estribos normales, ganchos de grapas, no deben ser menores que los valores indicados en la tabla 15, evitando someter a las barras a esfuerzos excesivos que pueden ocasionar rupturas, grietas o fisuras e inutilizarlas, debido a las tensiones a que es sometido el acero”(MVCS, 2006).

Así mismo señala que “todos los dobleces normales de las barras, se describen en términos del diámetro interior de doblado, ya que éste resulta más fácil de medir que el radio de dicho doblado”(p. 39).

Tabla 15

Diámetros mínimos de doblado según norma E.060.

Elemento	Diámetro de Barra (db)	Ángulo de Dobleces	Diámetro Mínimo de Dobrado
Ganchos estándar de barra	1/4" a 1"	45°-90°-135°-180°	6 db
	1 1/8" a 1 3/8"	45°-90°-135°-180°	8 db
	1 11/16" a 2 1/4"	45°-90°-135°-180°	10 db
Gancho de estribos y ganchos de grapas suplementarias	1/4" a 5/8"	90°	4 db
	1/4" a 5/8"	135°	4 db
	3/4" a 1"	90°	6 db
	3/4" a 1"	135°	6 db

Norma: *El diámetro mínimo de doblado para el diámetro de acero de 3/4" a 1" es el mismo en gancho estándar como en gancho de estribo, las consideraciones especiales en su mayoría son para los diámetros de 1/4" a 5/8".* **Fuente:** *Información adaptada del reglamento nacional de edificaciones E.060, capítulo 7, ítem 7.2.*



2.2.9. Variaciones de longitud implícitas durante el proceso

2.2.9.1. Longitud real de varilla puesta en obra.

Dentro del contexto actual de la ciudad aún no se aplica el acero dimensionado en obras de edificaciones residenciales, ninguna de las empresas constructoras en Cusco hace uso de este servicio por diversas razones expuestas anteriormente.

Para un despiece en obra, que quiera simular el proceso de industrialización de habilitación de acero, será necesario utilizar la longitud comercial dispuesta por los fabricantes. En el presente estudio que tiene un enfoque milimétrico, apuntando a una implementación industrial en la ciudad, es necesario ser riguroso con la longitud de varilla real que llegue a nuestras manos, pues esos milímetros que pasan a ser centímetros de diferencia pueden traducirse en una reducción de desperdicios considerable para obras de gran envergadura o empresas que quieran aventurarse en el servicio de habilitado industrializado del acero. (Rivero Ángeles et al., 2005) Existen a la actualidad, dos fabricantes a nivel nacional que disponen de los siguientes elementos para el consumo:

Tabla 16

Presentación, dimensiones y pesos nominales de aceros ASTM A615– Aceros Arequipa.

Fabricante	Presentación (m)	Diametro Nominal (pulg.)	Diametro Nominal (mm)	Sección (mm ²)	Perímetro (mm)	Peso Nominal (Kg/m)
Aceros Arequipa	9 - 11.9	-	6	28	18.8	0.222
	9 - 11.9	-	8	50	25.1	0.400
	9 - 11.9	3/8	-	71	29.9	0.560
	9 - 11.9	-	12	113	37.7	0.890
	9 - 11.9	1/2	-	129	39.9	0.994
	9 - 11.9	5/8	-	199	49.9	1.552
	9 - 11.9	3/4	-	284	59.8	2.235
	9 - 11.9	1	-	510	79.8	3.973
	12	1 3/8	-	1006	112.5	7.907

Nota: La longitud comercial ofrecida teóricamente es de 9m. **Fuente:**

Información adaptada Aceros Arequipa.



Tabla 17

Presentación, dimensiones y pesos nominales de aceros ASTM A615 – Sider Perú.

Fabricante	Presentación (m)	Diametro Nominal (pulg.)	Diametro Nominal (mm)	Sección (mm ²)	Perímetro (mm)	Peso Nominal (Kg/m)
Aceros Sider Perú	9	-	8	50	25.1	0.400
	9	3/8	-	71	29.9	0.560
	9	-	12	113	37.7	0.890
	9	1	-	129	39.9	0.990
	9	5/8	-	199	49.9	1.550
	9	3/4	-	284	59.8	2.240
	9	1	-	510	79.8	3.970
	12	1 3/8	-	1006	112.5	7.910

Nota: La longitud comercial ofrecida teóricamente es de 9m. **Fuente:** Información adaptada Sider Perú.

Sin embargo, estas longitudes de presentación no son exactas, y varían en cada varilla; observándose variaciones que van de 2cm a 5cm. Por tal motivo se estudiará la longitud promedio para llevar a cabo un correcto sistema de despiece.

2.2.9.2. Consumo de longitud de barra por proceso de corte.

Dentro del proceso de habilitación del acero el proceso de corte es casi inevitable, exceptuando casos donde se use la longitud completa de varilla. Es por este motivo que esta acción es tan importante, e igualmente dejada de lado por verse tan común y normal dentro de las labores de habilitación. (Aceros Arequipa, 2009)

Dentro de la convencionalidad del habilitado en la ciudad del Cusco se procede a ejecutar el corte con una amoladora angular y un disco que tiene 3mm de grosor en promedio. El corte en sí, consume acero que lo vemos transformarse en chispas y escoria haciendo uso de la varilla de forma implícita al proceso.

Para el habilitado de piezas de acero de una construcción se ejecutan miles de cortes en varillas y para una empresa que apunta a dar el servicio de habilitado de acero de forma industrial más aun, siendo una parte importante de consumo de acero de la que aún no se tiene conocimientos firmes para la toma de decisiones.

Frente a algunos estudios previos realizados de forma autónoma, se identificó que el corte puede llegar a representar un porcentaje significativo del total del acero

necesario para un proyecto en función de grosor de disco que se use para el corte, con este conocimiento se propone levantar la información real en campo para tener un grosor promedio real que pueda ser utilizado en los cálculos.

2.2.9.3. Elongación e incremento geométrico en barras dobladas.

El autor Castro Atau indica que es conveniente “incorporar el tema de la elongación e incremento geométrico en las piezas de acero dobladas, cuya descripción y desarrollo aportaran a que los refuerzos fabricados de distintas formas, queden a la medida de los planos de detalles estructurales de concreto armado” (Castro Atau, 2010).

“El principio de calcular el desarrollo de piezas diseñadas según los planos, es dividir la pieza final en componentes rectos y segmentos curvos, obteniendo primeramente el desarrollo del perfil que no se deformará y por otro lado el desarrollo de la pieza necesaria para hacer los lados curvos” (Castro Atau, 2010, p. 139). Estos principios se implementan dentro del programa Revit y CutLogic.

Figura 17

Elongación en barra doblada.



Fuente: *Información adaptada de “Sistematización de detalles, habilitación y armado de aceros ASTM A615 para construcciones de concreto armado: Impacto técnico, económico y ambiental”.*

El autor Yober Castro Atau (2010) elaboró un resumen de los incrementos y decrementos por dobles en refuerzos que varían en función del diámetro, tipo de elemento (longitudinal o estribo) y grados de doblez (p. 195); resumiéndose en la siguiente tabla 18:



Tabla 18

Valores de incremento y decremento para refuerzos doblados, en metros.

Denominación (db)	D: Incremento y Decremento por Doble en Refuerzos (m)							
	LONGITUDINALES				ESTRIBOS			
	45°	90°	135°	180°	45°	90°	135°	180°
6mm	-0.004	-0.015	0.005	0.017	-0.003	-0.013	0.001	0.010
1/4"	-0.004	-0.016	0.005	0.018	-0.004	-0.014	0.001	0.011
8mm	-0.005	-0.020	0.006	0.023	-0.004	-0.017	0.002	0.014
3/8"	-0.006	-0.024	0.007	0.027	-0.005	-0.020	0.002	0.016
12mm	-0.007	-0.031	0.009	0.035	-0.007	-0.026	0.003	0.020
1/2"	-0.008	-0.032	0.010	0.037	-0.007	-0.027	0.003	0.022
5/8"	-0.009	-0.041	0.012	0.046	-0.009	-0.034	0.004	0.027
3/4"	-0.011	-0.049	0.015	0.055	-0.011	-0.049	0.015	0.055
7/8"	-0.013	-0.057	0.017	0.064	-0.013	-0.057	0.017	0.064
1"	-0.015	-0.065	0.020	0.073	-0.015	-0.065	0.020	0.073
1 1/8"	-0.018	-0.085	0.037	0.116	-0.017	-0.073	0.022	0.082
1 1/4"	-0.020	-0.094	0.041	0.129	-0.019	-0.081	0.024	0.092
1 3/8"	-0.022	-0.104	0.045	0.141	-0.021	-0.089	0.027	0.101

Fuente: *Información adaptada de Castro Atau (2010, p. 195)*

2.2.10. Modelado de la información de la edificación (BIM)

BIM proviene del idioma inglés, “Building Information Modeling” (Modelado de la Información de la Edificación). “BIM es un planteamiento nuevo que ayuda a gestionar, diseñar y ejecutar proyectos. Usualmente confunden BIM con un software, siendo en realidad una metodología”(Siccha Pachamango & Villarruel Pastor, 2015).

La metodología BIM incorpora los procesos de diseño y construcción del ciclo completo de vida de los proyectos, asimismo contempla a su vez la etapa de funcionamiento y operación. BIM anexa estos procesos combinando bases de datos que contienen información del proyecto con múltiples maneras de visualización de tal forma que sea de rápida y fácil comprensión para cualquier participante involucrado en el desarrollo del proyecto, desde el personal de mantenimiento hasta el mismo cliente, con el propósito de que se puedan tomar decisiones rápidas y oportunas sobre el proyecto que antes no se podían.(p. 12)

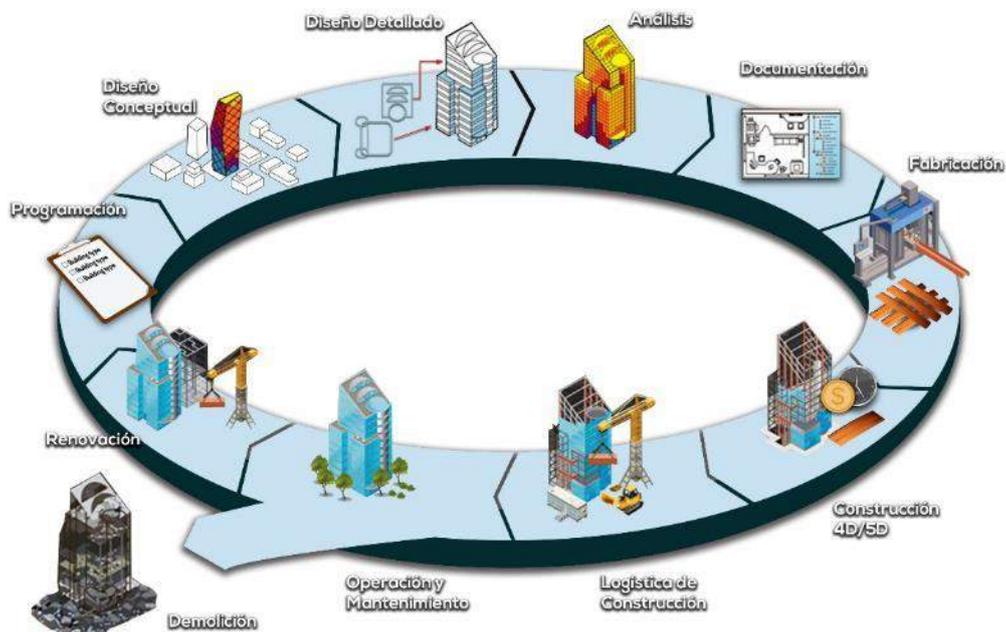
El BIM a su vez es una nueva técnica de trabajo en equipo, en la que tanto los proyectistas, arquitectos, ingenieros y el cliente trabajan en relación a modelos BIM del proyecto. Esta metodología es posible ya que “el BIM se soporta en nuevas herramientas tecnológicas que permiten crear, administrar y gestionar estos modelos, generando la base central de información necesaria que pueda ser usada en cualquier etapa del ciclo de entrega de proyectos”, así lo detalla Ministerio de Economía y Finanzas [MEF] (2020b).



A si mismo el Ministerio de Economía Y Finanzas (MEF, 2020b) en el plan de implementación BIM señala que “La teoría original del BIM recomienda un solo modelo con todas las partes extraíbles de información. Sin embargo, cada disciplina requerirá su propio modelo BIM para cumplir con sus obligaciones contractuales. Las soluciones coordinadas pueden entenderse como un modelo de integración del proyecto”(MEF, 2020b, p. 3).

Figura 18

Organización del sistema BIM.



Fuente: Google Imágenes. <https://www.grupovalero.com/wp-content/uploads/2017/07/CICLO-DE-VIDA-DEL-PROYECTO-CON-BIM.jpg>

2.2.10.1. Beneficios del uso de BIM durante el diseño y construcción.

Los autores Siccha Pachamango & Villarruel Pastor (2015) señalan que “la gestión de proyectos usando la tecnología BIM reduce la incertidumbre en su manejo, ya que aumenta las posibilidades de controlarlo, gracias a que elimina las aproximaciones abstractas”. Asimismo los autores indican que “la integración de las labores de diseño y construcción abre nuevas puertas a una ingeniería en la que los profesionales se dedicaran a mejorar los diseños, la planificación de las obras y



su respectivo control, reduciendo con ello el costo total de los proyectos” (Siccha Pachamango & Villarruel Pastor, 2015, p. 13). Algunos de los beneficios de aplicar BIM en una empresa que haya realizado un maduro proceso de implementación son:

a) En la etapa de diseño

- “En las primeras etapas del diseño, para probar que se ha cumplido con las expectativas del cliente, se puede obtener listados de materiales y cómputos de materiales generales. Un ejemplo de esto es los traslapes, que generalmente en los metrados de presupuesto de obra no se consideran”.
- “Obtención de los planos del proyecto: de plantas, de secciones, de elevaciones, de detalles y vistas 3D isométricas”.
- “Creación de imágenes foto realistas (renders), vistas de perspectivas, animaciones y escenas de realidad virtual para el marketing del edificio”.
- “Buena gestión de espacios y usos de los ambientes del edificio”.
- “Proveer datos para el análisis estructural de elementos del edificio”.

b) En la etapa de construcción

- “La revisión visual del diseño del proyecto”.
- “Realizar análisis visuales o automatizados de interferencias físicas entre los diseños (detección de interferencias)”.
- “Obtener reportes de cantidades de materiales (metrados)”.
- “Intercambio electrónico de datos de diseño con proveedores (para detalles y fabricación de acero estructural, prefabricación de instalaciones)”
- “Simulación del proceso constructivo BIM-4D”.
- “Con esta nueva tecnología de proyecto virtual, los propietarios están en una posición privilegiada confirmando la gran importancia de su papel, no sólo al principio del diseño de edificios, sino también en su planteamiento, mantenimiento y operación a largo de todo el ciclo de vida de los mismos”.

2.2.10.2. Adopción de tecnologías BIM en el Perú.

En el Perú, la implementación del BIM comenzó en el año 2005 y estuvo a cargo de las empresas constructoras, más grandes, con el propósito de incrementar su



productividad en los proyectos. El autor Almeida Del Savio (2019) en su artículo “BIM en el Perú” postula que “posteriormente, motivados por la necesidad de dar a conocer esta metodología que venía revolucionando el rubro de la construcción, se creó el Comité BIM del Perú el año 2012, el cual pertenece a la Cámara Peruana de la Construcción”.

Con la necesidad latente de reglamentar el BIM en el Perú, en el año 2017 el Instituto Nacional de Calidad (INACAL) aprobó la conformación del “Comité Técnico de Normalización de Edificaciones y Obras de Ingeniería Civil” que agrega el Subcomité de “Organización de la Información sobre Obras de Construcción”. Por medio de este subcomité, se generaron las primeras normas técnicas peruanas sobre BIM, publicadas en el diario El Peruano, en la “Resolución Directoral n.º 048- 2018-INACAL/DN” (Almeida Del Savio, 2019, p. 2), de fecha 28 de diciembre de 2018:

- “NTP-ISO/TS 12911:2018 Guía marco para el modelado de información de la edificación (BIM)”.
- “NTP-ISO 29481-2:2018 Modelado de la información de los edificios. Manual de entrega de la información. Parte 2: Marco de trabajo para la interacción”.

Según Almeida Del Savio, (2019) “años después, en el 2018, el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, a través de la Dirección General de Políticas y Regulación, creó un equipo de trabajo con el fin de establecer los lineamientos técnicos mínimos que deben considerarse para obtener un modelo BIM”.

Finalmente, en diciembre del mismo año, el “Ministerio de Economía y Finanzas del Perú”(MEF, 2020b) publicó en su página web el “Plan BIM Perú”, con el fin primordial de contar con “elementos técnicos necesarios que ayuden a la toma de decisiones respecto del uso de metodologías colaborativas de modelamiento digital de la información, aplicables a las fases de formulación y evaluación, ejecución y funcionamiento de la inversión en infraestructura pública”.

Según el MEF (2020b) “Este plan posee 3 etapas para su proceso de implementación: (1) el diagnóstico/línea de base, (2) el diseño del Plan BIM Perú y (3) la implementación del mismo”.



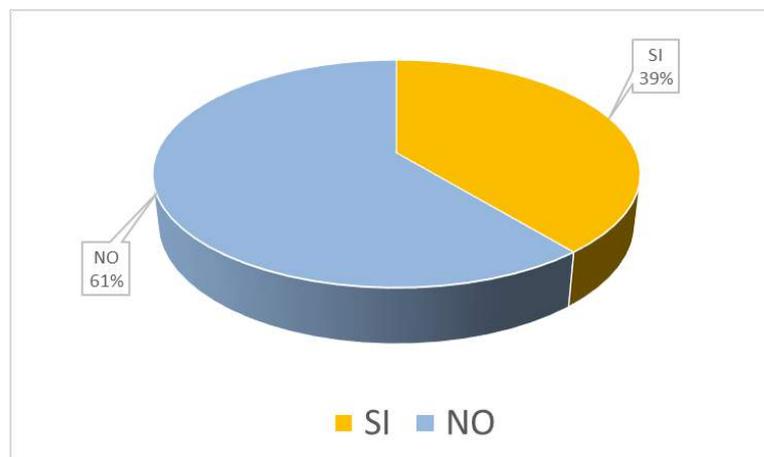
El autor Almeida Del Savio señala que “este lanzamiento del Plan BIM Perú corrobora los esfuerzos anteriormente hechos para la implementación y promoción del BIM en el país, y se espera que asiente las bases para la incorporación decisiva de esta metodología, teniendo en cuenta todos los beneficios que esto puede generar al desarrollo del país mediante una gestión más eficiente de proyectos de edificación e infraestructura”. (Almeida Del Savio, 2019, p. 2)

A si mismo el autor Murguía et al. (2021) señala que “el proceso de adopción BIM, es un desafío que incluye al sector público, privado y la academia”. Concluyentemente, indica Murguía et al. (2021), “es importante establecer una estrategia, procesos, estándares y desarrollo de capacidades, de esta manera poder aplicar y aprovechar los beneficios del uso de la metodología BIM en el desarrollo de proyectos de inversión tanto pública como privada”.

Siendo más específicos y tomando como referente la actividad de construcción en Lima, de acuerdo con el “*Segundo Estudio de Adopción BIM en Lima y Callao*” (Murguía et al., 2021), el autor indica que “el análisis de datos revela que el 39.1% de proyectos ha adoptado BIM como se muestra en la figura 19, con un nivel de confianza de 95%, el error de la muestra es de 6.9%. Por tanto, se puede afirmar que 1 de cada 4 obras en Lima Metropolitana tiene algún uso de BIM”(p. 10).

Figura 19

Nivel de adopción BIM en edificaciones urbanas en Lima Metropolitana y Callao el 2020, valor porcentual.



Fuente: Información adaptada de (Murguía et al., 2021, p. 10)

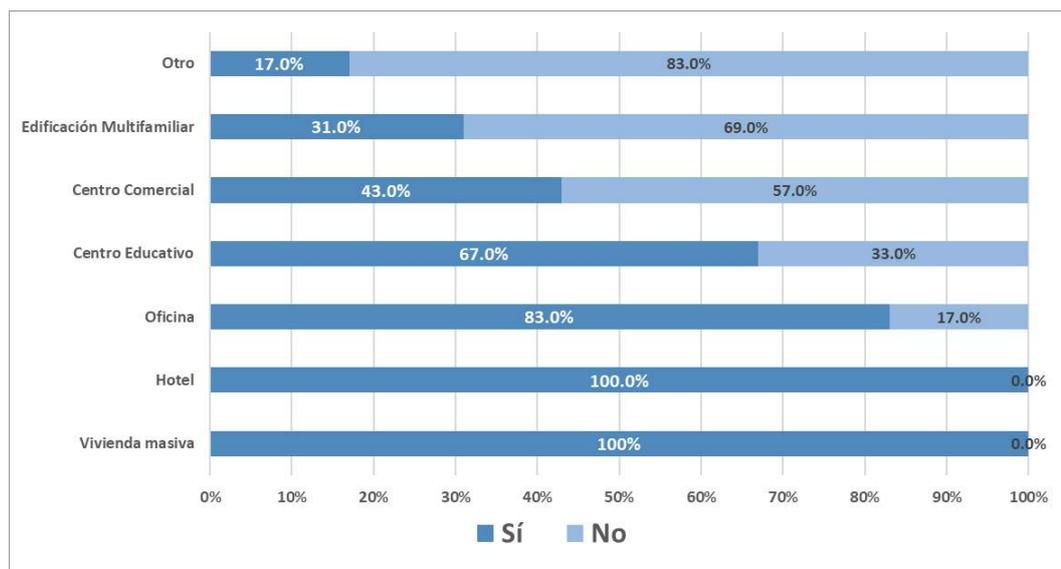


2.2.10.2.1. Adopción BIM por tipo de edificación.

Según Murguía et al., (2017), “la primera variable de diferenciación es el tipo de edificación de acuerdo con su uso. El estudio revela que el nivel de adopción BIM más bajo se observa en las edificaciones multifamiliares y otros (comisarias, restaurantes, entre otros) con valores alrededor del 15-30%, mientras que los niveles más altos están en vivienda masivas, hoteles y oficinas (entre un 80-100%), y en menor medida los centros educativos y centros comerciales (entre 40-70%)” (p. 12) como se aprecia en la figura 20.

Figura 20

Nivel de adopción BIM por tipo de proyectos en Lima Metropolitana y Callao en el 2020.



Nota: El nivel de adopción BIM más bajo se observa en la edificación multifamiliar y centros educativos. **Fuente:** Adaptado de (Murguía et al., 2021, p. 12).

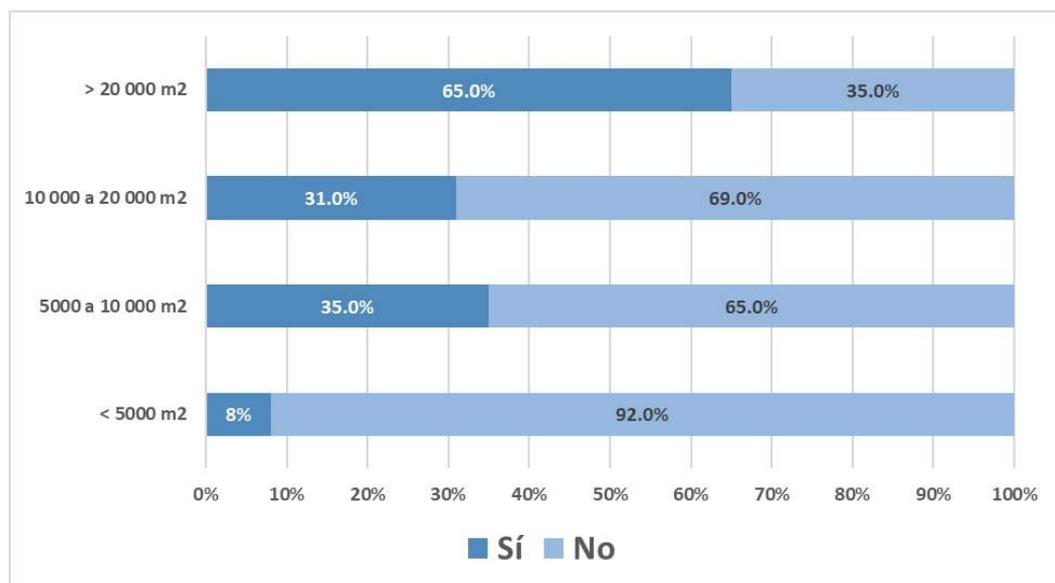
El autor Murguía et al, nos indica que el “BIM aumenta en proporción al tamaño de proyecto medido en su área construida y altura de la edificación” (Murguía et al., 2021, p. 11). Por esta razón el informe a cargo de Danny Murguía et al. (2021) concluye que “el uso actual de BIM es mayor cuando el proyecto tiene complejidad alta y de alta envergadura”. Finalmente, el autor señala que “el bajo nivel de



adopción en obras de edificación multifamiliar es debido a que la gran mayoría son de baja altura (hasta 7 pisos) y poca área construida (menos de 5,000 m²)”, como se observa en la figura 21 y 22:

Figura 21

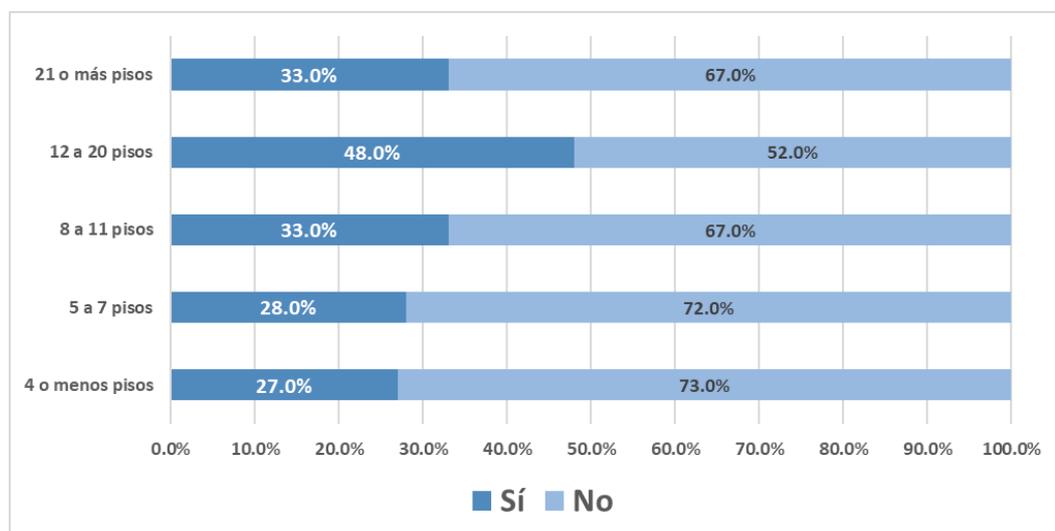
Nivel de adopción BIM por tamaño de proyecto (área construida).



Fuente: Información adaptada de (Murguía et al., 2017, p. 10).

Figura 22

Nivel de adopción BIM por tamaño de proyecto (altura edificación).





Nota: Para proyectos de 8 a 11 pisos el nivel de adopción BIM es menor al 35%.

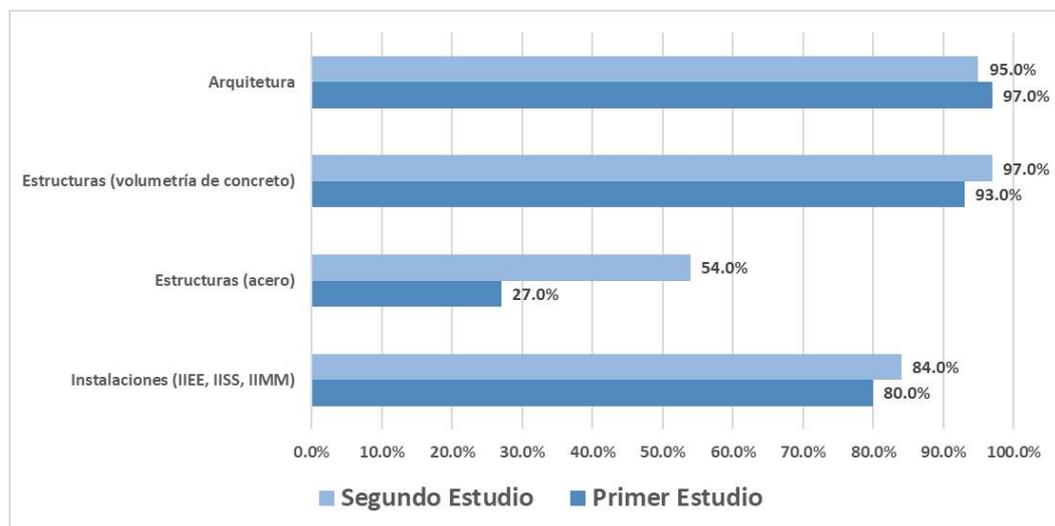
Fuente: Información adaptada de (Murguía et al., 2017).

2.2.10.2.2. Especialidades modeladas.

Los resultados que se exponen corresponden a la porción de la muestra que “sí” tiene uso de BIM en el estudio realizado por (Murguía et al., 2021, p. 14). Ante la pregunta de “qué sistemas se han modelado”, el estudio revela que mayoritariamente se han modelado los sistemas de arquitectura y estructuras a nivel de volumetría como se muestra en la figura 23, le siguen los sistemas MEP. Cabe destacar que en el primer estudio realizado por Murguía et al., (2017) “solo el 27% de los proyectos que reportan haber usado BIM han manejado un modelo para el acero de refuerzo”, los resultados del segundo estudio muestran que para el año 2020 existe un claro aumento en el modelado de acero (p. 14), siendo un 54%.

Figura 23

Especialidades modeladas (% respecto de los proyectos que usan BIM).



Fuente: Información adaptada de (Murguía et al., 2021, pág 14).

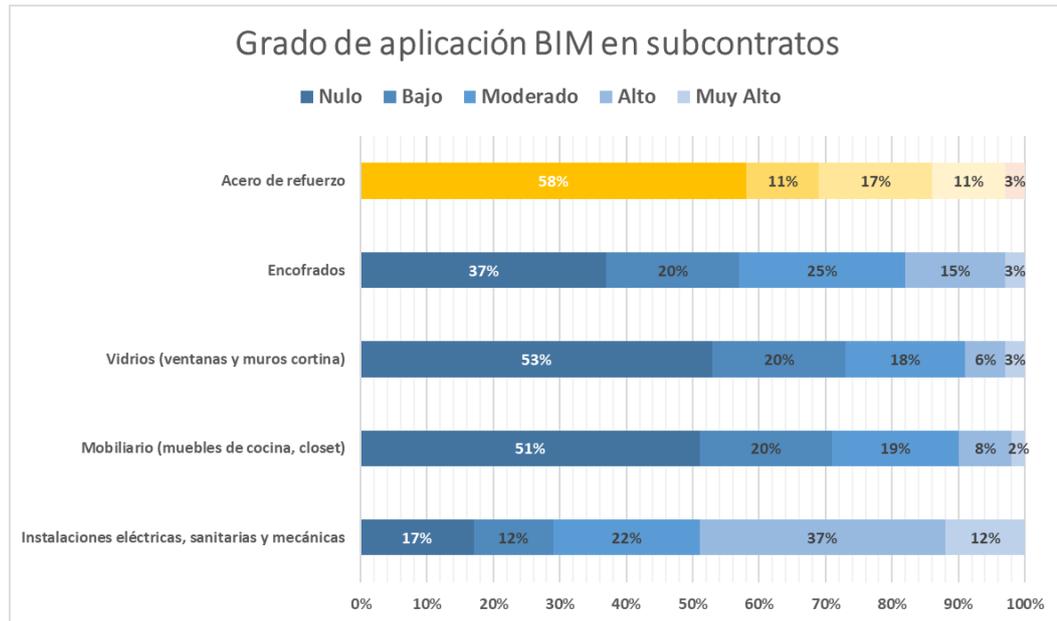
En el “Primer estudio de adopción BIM en Lima” (Murguía et al., 2017), se concluye que en general, “el nivel de colaboración con subcontratistas en obra es muy bajo, a excepción de las instalaciones eléctricas, sanitarias y mecánicas”. Este



bajo nivel de cooperación limita el uso de modelos BIM a un LOD350 requerido para ensamblaje en obra (p. 14) como se muestra en la figura 24.

Figura 24

Grado de aplicación BIM con subcontratos en proyectos de edificación-2017.



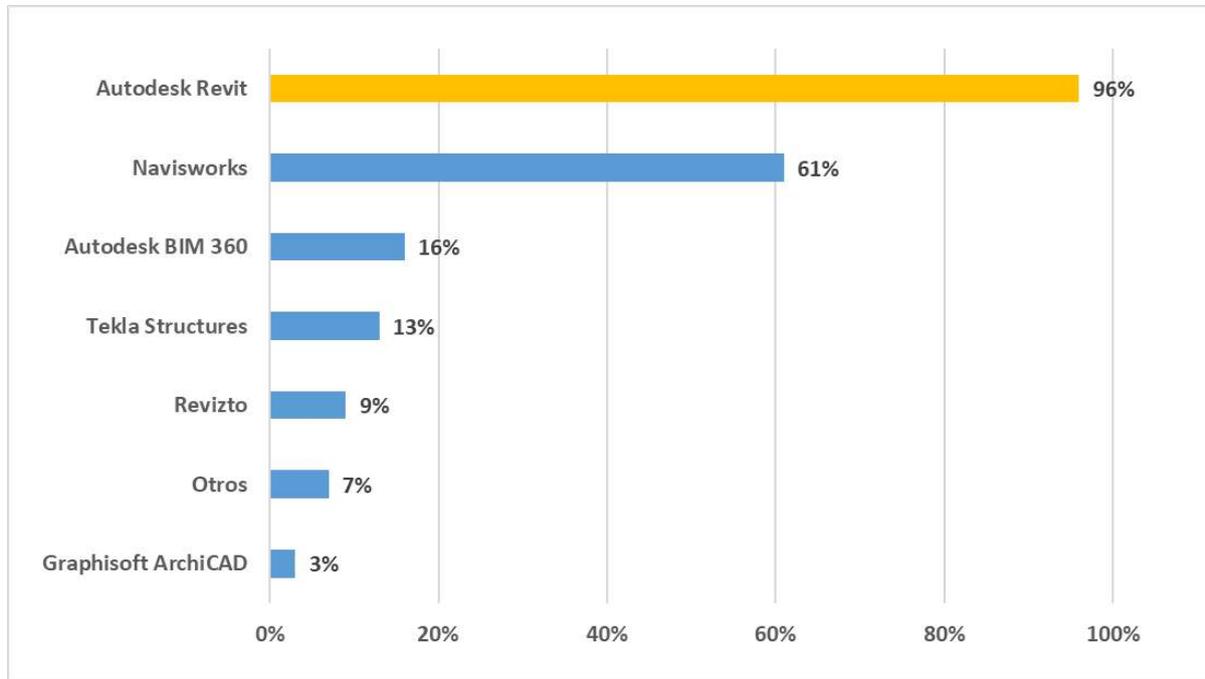
Fuente: Información adaptada de (Murguía et al., 2017, p. 14)

2.2.11. Herramientas de la metodología BIM

Los softwares de modelado que son más utilizados según el “Segundo estudio de adopción BIM en proyectos de edificación en Lima y Callao” (Murguía et al., 2021) en el mercado de la capital son “Revit (96%), Tekla (13%), y Archicad (3%). Sin embargo, los softwares de colaboración asincrónica son usados en menor medida: BIM360 (16%) y Revizto (9%). Finalmente, el 61% de los proyectos utiliza Navisworks, que es usado para detectar incompatibilidades y en menor medida para simular modelos 4D”(p. 17).

Figura 25

Softwares utilizados en proyectos de edificación urbana en Lima Metropolitana y Callao 2020, valor porcentual.



Nota: Autodesk Revit es el software de mayor uso en Lima con una aceptación del 96%.

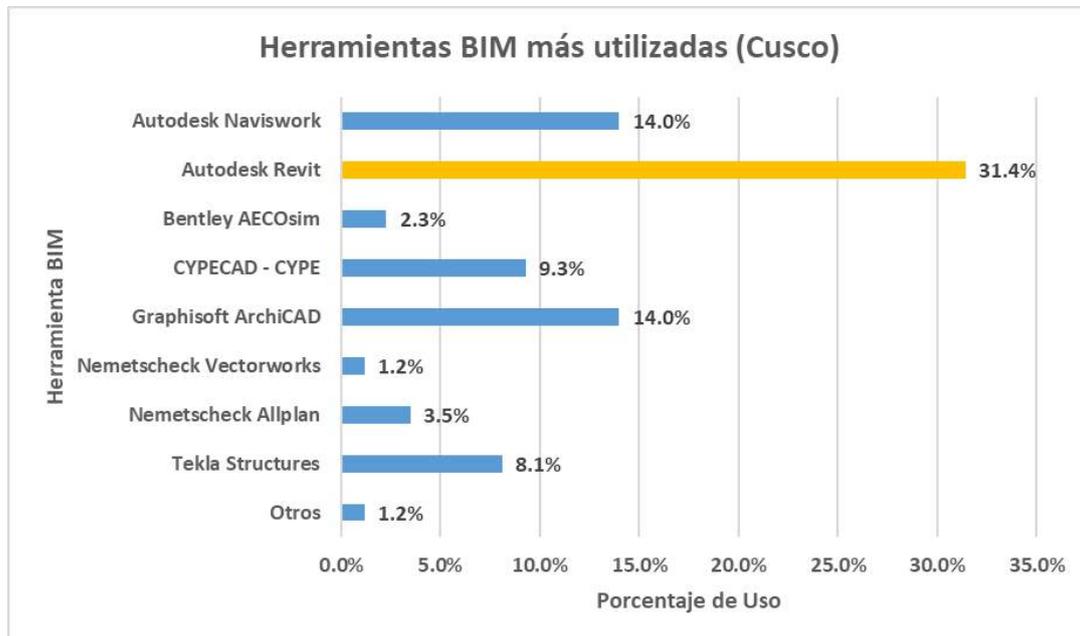
Fuente: Información adaptada de (Murguía et al., 2021, p.17)

De la misma manera todas las herramientas BIM que existen actualmente en el mercado está confirmado que nuevamente Revit el programa ofrecido por Autodesk se posiciona como la herramienta BIM más utilizada en el medio cusqueño con un 31.4% según Vizcarra Aparicio (2018), otros programas como ArchiCAD de Graphisoft, AutoCAD de Autodesk y Naviswork de Autodesk comparten una aceptación del 14.0% en promedio. El programa VectorWorks de Nemetschech es el menos conocido del medio, representado por un 1.2%. (pág 9).

La figura 26 muestra un sondeo general sin distinguir el tipo de Usuario y la profesión:

Figura 26

Herramientas BIM más utilizadas en Cusco, valor porcentual.



Fuente: *Información sobre herramientas BIM más utilizadas en Cusco por Vizcarra Aparicio, (2018)*

2.2.12. Autodesk Revit

Autodesk indica que el software “permite al usuario diseñar con elementos de Modelación y Dibujo paramétrico. Es una herramienta de dibujo asistido por computador que permite un diseño basado en objetos inteligente y en tercera dimensión”. Revit provee una asociatividad completa de orden bidireccional. (Siccha Pachamango & Villarruel Pastor, 2015) señalan que “un cambio en algún lugar significa un cambio en todos los lugares, instantáneamente, sin la intervención del usuario para cambiar manualmente todas las vistas” (p. 13) y posee:

- “Herramientas de diseño conceptual: Herramientas para modelado paramétrico y de formas libres; análisis anticipado de los diseños”.
- “Asociatividad bidireccional: Al realizar un cambio de diseño en cualquier punto, el modelo se actualiza automáticamente en todo el proyecto”.
- “Componentes paramétricos: El diseño con componentes de construcción reales ofrece más detalles y exactitud”.



- “Revit Building Maker: Los modelos conceptuales pueden transformarse en diseños de construcción funcionales con muros, cubiertas, suelos y sistemas de muros de cortina”.
- “Tablas de planificación: La información actualizada del modelo permite generar tablas de planificación más precisas”.
- “Detallado: Puede crear, editar y compartir bibliotecas de detalles para adaptarse mejor a las normas de la empresa, o bien recurrir a la amplia biblioteca integrada en el producto”.
- “Visualización de diseños: Las herramientas de renderización integradas permiten comunicar la finalidad del diseño con mayor nitidez”.

2.2.12.1. LOD's en proyectos BIM.

El acrónimo LOD hace referencia a dos definiciones diferentes y que podrían generar algunas confusiones.

- LOD como Nivel de Detalle:

Según el autor Alonso Madrid (2015) “el Nivel de Detalle (Level Of Detail) se corresponde a la evolución lineal de cantidad y riqueza de información de un proceso constructivo; se refiere al modelo de proyecto, los costes, presupuestos y la planificación temporal. Inicialmente definida por la empresa Vico (actualmente dentro del grupo Trimble y originalmente vinculada a Graphisoft) convive con dificultad y dando lugar a errores de interpretación con el acrónimo LOD del Nivel de Desarrollo (Level of Development)” (Alonso Madrid, 2015, p. 40).

En la “Singapore BIM Guide” v1.0 mayo 2012 se establece un “interesante paralelismo entre las fases del proyecto, los niveles de detalle, y las escalas de los entregables”. Esta clasificación es válida para procesos tradicionales de desarrollo de proyecto, en los que la evolución de la información en cantidad y calidad era lineal y siempre en avance. A si mismo el autor Alonso Madrid (2015, p. 41) postula que “en la actualidad, la forma de trabajar colaborativa establece pautas distintas, con continuas revisiones y variedad de agentes con capacidad de decisión y modificación del proyecto”.

Los grados de detalle vienen determinados por letras (A, B, C...) o letras y números (G0, G1, G2...) según el país de origen en la definición a tener en cuenta.



- LOD como Nivel de Desarrollo:

El LOD como “Level of Development” define el nivel de desarrollo o madurez de información que posee un elemento del modelo, y este es la parte de un componente, sistema constructivo o montaje del edificio (arts. 1.2.2 y 1.2.3 del documento “E-202 Building Information Modeling Protocol” del American Institute of Architects [AIA] citados en Alonso Madrid, (2015, p. 42). “Conviene aclarar que el LOD en ningún caso se refiere a la totalidad del proyecto y tampoco tiene vinculación con la fase de desarrollo o construcción”.

El estándar definido por el documento “E-203” incluye la capacidad de incluir elementos no modelados (denominados “NM”) en la clasificación global (“MET - Tabla de Elementos del Modelo”). Aquí están clasificados los “elementos para los que no existe intención de modelado en ningún estado del proyecto o construcción, remarcando la atención sobre aquellos elementos que no forman parte del proyecto y los que sí que lo hacen, pero no se modelan”. De esta manera Javiuer Alonso Madrid (2015) concluye que “esta flexibilidad beneficia la metodología de modelado orientados a la valoración y mantenimiento, facilitando la ligereza de información geométrica en los modelos sin perder por ello fiabilidad en el conjunto” (p. 42).

2.2.12.2. Determinación de los niveles de desarrollo (LOD).

El autor Alonso Madrid señala que “la clasificación numeral de los LOD se desarrolla inicialmente en el documento E-202 del año 2008 por el American Institute of Architects [AIA], posteriormente se amplía su definición en el año 2013 mediante el documento “G202”, también del “AIA”, hasta la última definición popularmente admitida de diciembre del 2014 elaborada en el “BIMForum”, con permisos para estar basados en las anteriores e incluyendo nuevos detalles”, así lo indica el autor Alonso Madrid (2015). Este foro está promovido por la asociación “AGC of America” (Associated General Contractors of America) y el AIA. Con independencia de los derechos de copyright de todos estos documentos, en G202 se indica de forma explícita la capacidad de cualquier agente para adaptar, modificar e incorporar nuevas definiciones de LOD, como ocurrió en este BIMforum de 2014 (p. 42), como se aprecia en la figura 27.

Figura 27

Clasificación LOD como nivel de desarrollo.

LEVEL of DEVELOPMENT				
LOD 100	LOD 200	LOD 300	LOD 400	LOD 500
Concept (Presentation)	Design Development	Documentation	Construction	Facilities Management
DESCRIPTION: Office Chair Arms, Wheels WIDTH: DEPTH: HEIGHT: MANUFACTURER: Herman Miller, Inc. MODEL: Mirra LOD: 100	DESCRIPTION: Office Chair Arms, Wheels WIDTH: 700 DEPTH: 450 HEIGHT: 1100 MANUFACTURER: Herman Miller, Inc. MODEL: Mirra LOD: 200	DESCRIPTION: Office Chair Arms, Wheels WIDTH: 700 DEPTH: 450 HEIGHT: 1100 MANUFACTURER: Herman Miller, Inc. MODEL: Mirra LOD: 300	DESCRIPTION: Office Chair Arms, Wheels WIDTH: 685 DEPTH: 430 HEIGHT: 1085 MANUFACTURER: Herman Miller, Inc MODEL: Mirra LOD: 400	DESCRIPTION: Office Chair Arms, Wheels WIDTH: 685 DEPTH: 430 HEIGHT: 1085 MANUFACTURER: Herman Miller, Inc MODEL: Mirra PURCHASE DATE: 01/02/2013

Nota: LOD según Practicalbim. Fuente: Adaptado de (Alonso Madrid, 2015)

- LOD 100

El autor Alonso Madrid (2015) indica que es el nivel básico en el que se enumeran los elementos conceptuales de un proyecto, con el grado de definición definido por: “El elemento objeto puede estar representado por un símbolo genérico. No es necesaria su definición geométrica, aunque este puede depender de otros objetos definidos gráfica y geoméricamente. Muchos elementos pueden permanecer en este nivel de desarrollo en fases avanzadas del proyecto”(p. 43).

- Análisis: “En base a dimensiones geométricas (si existen), orientación y ubicación, así como relación con otros elementos”.
- Coste: “Estimación de costes en relación a datos como área, volumen o similares (unidades, por ejemplo). Habitualmente el parámetro de mayor utilidad en este LOD”.
- Programación: “El elemento puede ser utilizado para determinación de fases y duraciones”.
- Coordinación: No aplicable.



- LOD 200

El autor Alonso Madrid (2015, p. 43) señala que en este nivel se define gráficamente al elemento, dando especificaciones aproximadas de cantidades, tamaño, forma y/o ubicación con relación al conjunto del proyecto. Puede incluir información no gráfica.

“El elemento objeto está determinado por su posición y ya posee una definición geométrica no completa. Tiene los datos aproximados de dimensiones, forma, ubicación y orientación. Su uso está vinculado a elementos genéricos o cuyas definiciones detalladas vienen dadas por agentes externos al proyecto”. Es el nivel de desarrollo más bajo en el que se señala la facultad de incluir información no gráfica de un elemento, como podría ser el coste real (no estimado del LOD 100), así como características de envolventes, pesos, fabricantes y manuales de mantenimiento.

- Análisis: “El Elemento puede ser analizado para su funcionamiento en base al uso de criterios generales del proyecto”.
- Coste: “Estimación avanzada de costes vinculados a datos geométricos y de cantidades propios de este nivel. Este coste deriva del propio elemento y no de otros elementos”.
- Programación: “El elemento puede ser utilizado para mostrar planificaciones de tiempos y criterios de prioridades. Programación: El elemento puede ser utilizado para mostrar planificaciones de tiempos y criterios de prioridades”.
- Coordinación: “El elemento puede ser utilizado para coordinarse con otros elementos del proyecto en base a dimensiones, ubicación, trayectorias y distancias respecto a otros”.

- LOD 300

“Es el nivel en el que se definen gráficamente el elemento, especificando de forma precisa cantidades, tamaño, forma y/o ubicación respecto al conjunto del proyecto. Puede incluir información no gráfica”, así lo indica el autor Alonso Madrid (2015, p. 43).

El elemento objeto se define en detalle en términos de geometría, así como su posición, su pertenencia a un sistema constructivo particular, su uso y montaje en términos de número, tamaño, forma, posición, y dirección. También se indica la posibilidad de incluir información no gráfica relativa al elemento.



- Análisis: “El Elemento puede ser analizado para su funcionamiento en base al uso de criterios específicos del propio elemento. Puede requerir información no gráfica complementaria”.
- Coste: “Valoración específica y precisa del elemento en base a datos concretos de fabricación y puesta en obra”.
- Programación: “El elemento puede ser utilizado para mostrar planificaciones de tiempos y criterios de prioridades”.
- Coordinación: “El elemento puede ser utilizado para coordinarse con otros elementos del proyecto en base a dimensiones, ubicación, trayectorias y distancias respecto a otros”.

- LOD 350

Este nivel es semejante al LOD 300, pero incluyendo la detección de interferencias entre distintos elementos.(Alonso Madrid, 2015, p. 45)

El autor Alonso Madrid (2015) formula que “es propio de proyectos complejos desarrollados independientemente por disciplinas u otra desagregación de proyecto específica puesto que afecta al análisis, programación y coordinación del proyecto”. Así mismo el autor indica que “ocasionalmente, al coste por elemento y conjunto. Transforma casi la totalidad del proyecto respecto a LOD 300 según criterios definidos bajo coordinación en los que suele ser prioritario el respeto a la estructura frente a instalaciones, y estas frente a arquitectura. Requieren de una perfecta coordinación entre todos los agentes y las distintas disciplinas y subdisciplinas para una correcta ejecución en obra y una drástica reducción de errores y modificaciones en esta”(Alonso Madrid, 2015, p. 45).

- LOD 400

De igual forma el autor Alonso Madrid (2015), en este nivel de desarrollo nos indica que “el elemento objeto está definido geométricamente en detalle, así como su posición, pertenencia a un sistema constructivo específico, uso y montaje en términos de cantidades, dimensiones, forma, ubicación y orientación con detallado completo, información de fabricación específica para el proyecto, puesta en obra/montaje e instalación”. A su vez se señala la oportunidad de incluir información no gráfica vinculada al elemento.

- Análisis: “El Elemento puede ser analizado para su funcionamiento en base al uso de criterios específicos del propio elemento y los sistemas o



conjuntos constructivos a los que pertenece. Puede requerir información no gráfica complementaria”.

- Coste: “Valoración específica y precisa del elemento en base a datos concretos de fabricación y puesta en obra según precio de compra del mismo”.
- Programación: “El elemento puede ser utilizado para mostrar planificaciones de tiempos y criterios de prioridades, así como plazos de fabricación y tareas vinculadas a esta”.
- Coordinación: “El elemento puede ser utilizado para coordinarse con otros elementos del proyecto en base a dimensiones, ubicación, trayectorias y distancias respecto a otros, incluyendo datos de uso y mantenimiento específicos. Se incluye la detección de colisiones entre elementos”.

- LOD 500

Finalmente en este LOD se plantea, según Alonso Madrid (2015), que “el elemento objeto está definido geoméricamente en detalle, así como su posición, pertenencia a un sistema constructivo específico, uso y montaje en términos de cantidades, dimensiones, forma, ubicación y orientación”. También se indica la “posibilidad de incluir información no gráfica vinculada al elemento. Se verifica la información de este nivel en relación al proceso constructivo finalizado (“as built”) y no es aplicable a todos los elementos del proyecto. El criterio válido será definido por la propiedad y las normativas correspondientes. La información de este nivel sustituye a las equivalentes de otros niveles inferiores en todos los casos”. Elementos del modelo pueden estar definidos a nivel de LOD 500 sin haberlo hecho en niveles anteriores y se incluirá siempre el autor del mismo como agente responsable de su ejecución (Alonso Madrid, 2015, p. 47).

- “El uso del nivel LOD 500 está vinculado al futuro y puede incluir: determinación de estado actual, especificaciones y aprobaciones de productos, uso y mantenimientos directos o indirectos, gestión y explotación, así como renovaciones y modificaciones”.

Dentro del marco nacional en los “Lineamientos para la utilización de la metodología BIM en las inversiones públicas” (MEF, 2020a, p. 6-8) se indica que “las entidades establecen lo(s) objetivo(s) general(es) y específico(s) del Modelo BIM orientados a justificar su uso para lograr y medir el cumplimiento de lo(s)



objetivo(s) general(es) y específico(s) de la inversión pública. Deben ser medibles y direccionados a mejorar la ejecución de la inversión”.

Resalta que el Plan de Ejecución BIM debe contener como mínimo El Nivel de Información o Desarrollo de los elementos BIM o Modelo BIM, “incluyendo la explicación y sustento de lo que se considera alcanzar en cada fase de la inversión determinada y para cada caso, conforme al(los) objetivo(s) general(es) y específico(s) del Modelo BIM”, pero no es específico en cuanto a los LOD’s que se deben utilizar.

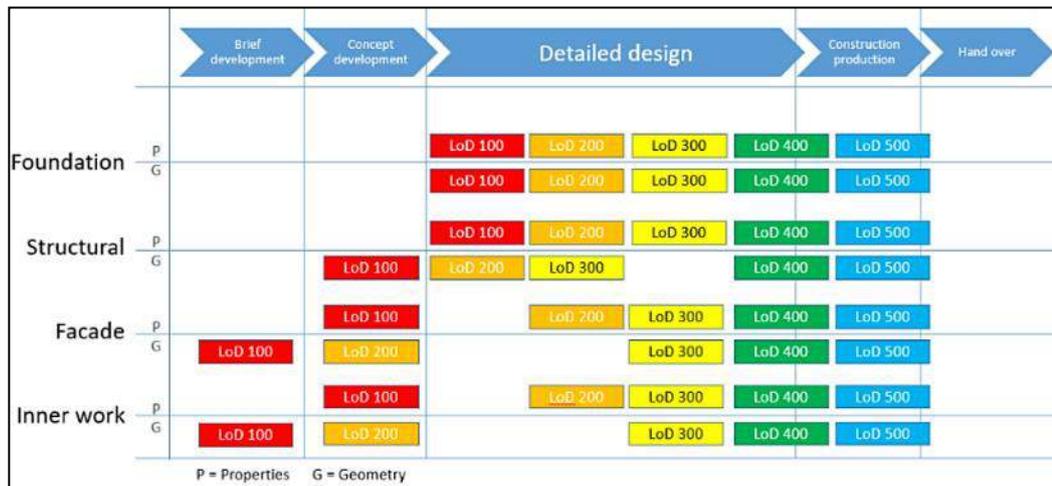
Según el artículo “*Use of LOD decisión plan in BIM-projects*” elaborado por Grytting et al. (2017) se presenta el plan de decisión de LOD propuesto (ilustrado en la Figura 38). La línea de cada entrega está destinada a ilustrar la progresión del modelo. Los niveles de LOD por encima de la línea describen el nivel de propiedades y debajo de la línea el nivel de geometría.

La actividad de diseño se ejecuta en el tiempo de los cuadrados que terminan con los plazos de entrega (puertas de decisión). El color de cada cuadrado ilustra el nivel de LOD de cada elemento. Debe estar marcado con el mismo color en un modelo BIM común, sirviendo como herramienta de planificación ilustrativa (p. 413).

El plan es un modelo conceptual e ilustra cómo se puede estructurar el proceso con LOD. Para usar esto en un proyecto, los gerentes deben ajustar el plan de acuerdo con las entregas y fases específicas del proyecto.

Figura 28

Modelo conceptual de un Plan de decisión LOD.



Nota: Para la etapa de diseño de detalle es suficiente con conseguir un LOD 300.

Fuente: (Grytting et al., 2017, p. 413)

Tras el análisis desarrollado, es evidente que no es posible establecer un paralelismo entre niveles de desarrollo (LOD 100 a LOD 500). A si mismo el autor Alonso Madrid (2015) señala que “desde el nivel 100 al 500 se establece un falso paralelismo con la metodología habitualmente utilizada en la que se comienza el proceso BIM en las fases iniciales de diseño arquitectónico y se finaliza este con el largo proceso de mantenimiento y gestión de una edificación”. A si miso Grytting et al nos recuerda que “el nivel de desarrollo se aplica a cada elemento del proyecto/construcción integrada en la información BIM y no a la totalidad de la fase del proyecto, no se podrá determinar que un proyecto ha llegado a un determinado grado de LOD hasta que la totalidad de sus elementos lo hayan hecho a este mismo nivel”(Grytting et al., 2017, p. 414)

Pero “no es necesario que así sea para que el proyecto, que no sus partes, se pueda considerar en fases avanzadas del mismo; por lo que será necesario determinar qué elementos deben acceder a qué determinado nivel de desarrollo para poder considerar que el conjunto del proyecto ha alcanzado cierto grado de desarrollo (LOD) o nivel de madurez general”.

En consecuencia, el nivel de desarrollo de un proyecto y/o construcción es una base magnifica para determinar, con un alto grado de parametrización, el grado de madurez de cada elemento de este (p. 414).



2.2.13. *Optimización de materiales mediante patrones de corte eficiente*

En la industria resulta común encontrar que diversos materiales como papel, tela, plástico, madera, tubos, láminas de metal o varillas, etc., son empleados como materia prima para distintos fines, producidos por un fabricante el cual más tarde proveerá de dichos artículos a una gama de clientes con requerimientos específicos sobre el producto.

Uno de esos requerimientos es la dimensión del material a necesitarse, el autor Rivero Ángeles et al. (2005) indica que, “por lo cual no es raro que el fabricante o proveedor cuente con maquinaria o moldes que le permitan producir materiales con distintas variaciones sobre sus dimensiones. Sin embargo, a pesar de las diversas variaciones que el proveedor de materia prima puede brindar, múltiples necesidades del cliente difieren de todas éstas”.

De esta manera, el fabricante se ve obligado a recortar para darle alguna variación en su producto para cumplir con los pedidos. Estos cortes se suelen realizar con cuchillas rectas que cortan la materia prima por sus diferentes lados para obtener las dimensiones previstas. De lo anterior, se desprende que la decisión de cambiar el nivel de corte y la forma de hacerlo conducirá a un mayor o menor desperdicio de materiales, lo que repercute directamente en el costo de producción (Rivero Ángeles et al., 2005, p.46).

En consecuencia “el objetivo es satisfacer las necesidades de un cliente haciendo las cosas de la manera más eficiente, a lo que se le conoce como el problema de corte de guillotina, que fue una de las primeras aplicaciones de los métodos de investigación de operaciones”.

El autor Rivero Ángeles señala que “el primer y más significativo avance para su resolución en el caso unidimensional se centró en el trabajo realizado por Gilmore y Gomory (1961), quienes utilizaron el método de generación de columnas. A partir de ese momento, el método se ha explotado ampliamente para resolver diversas instancias de dicho problema, teniendo particular impacto en una gran variedad de procesos industriales. Una aplicación importante se da en la industria de la construcción, pues el desperdicio puede ser un factor importante en el costo directo de la obra” (Rivero Ángeles et al., 2005, p. 42).

2.2.13.1. Investigación operativa.

La Investigación Operativa o de Operaciones (IO) es también definida como ciencia de la administración, según Ochoa Reiban (2014) que nos indica que “ésta incorpora modelos matemáticos, estadísticos y algoritmos para modelar y resolver



problemas complejos, determinando la solución óptima y mejorando la toma de decisiones sea el campo en el cual se esté implementando”.

Esta disciplina relativamente moderna nace a partir de ciertos servicios militares que se prestaron a inicios de la Segunda Guerra Mundial. En aquel entonces existía el apremio de asignar recursos escasos a las distintas maniobras militares, así como, las diversas acciones que conformaban cada operación de la manera más eficaz.

Wayne L. Winston como se citó en Ochoa Reiban, (2014) lo define como un enfoque científico para la toma de decisiones que buscan el mejor diseño y operar un sistema, por lo regular en condiciones que requieren la asignación de recursos escasos (p. 16).

A si mismo Ochoa Reiban (2014) señala que “la IO tiene un gran rango de aplicación en la actualidad. Se puede distinguir algunas aplicaciones tipo como por ejemplo: asignación de recursos escaso, ordenamiento y coordinación de tareas (los primeros campos de aplicación de la IO se refería a este tipo de problemas), también existen los referentes a líneas de espera (este tipo de problemas se tienden sobre un mundo aleatorio normalmente en el cual se tratan las esperas y retrasos ocurridos en el sistema entre otros), por otro lado los de inventario, Costos y tiempo (se considera de las aplicaciones más sencillas relacionada a almacenar y/o mantener recursos; se estudia cuanto y cuando adquirir) y finalmente los de tipo gestión de proyectos (donde un determinado conjunto de tareas de un proyecto se modelan con la finalidad de conocer cuáles son los tiempos y tareas críticas.

2.2.13.2. Problemas de corte y empaquetado.

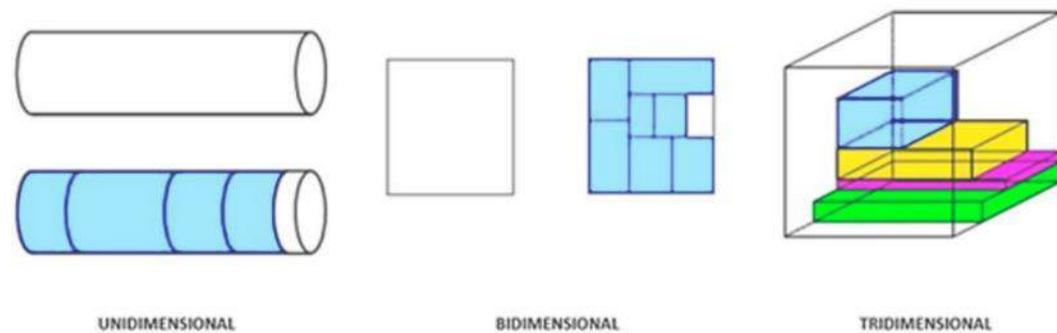
Los Cutting and Packing Problems o problemas de corte y empaquetado son una rama de la IO. “Estos son entendidos como problemas combinatorios geométricos. Se puede encontrar una gran cantidad de variantes derivadas de la amplia gama de aplicaciones prácticas y dependiendo de quién lo esté tratando”, según Carolina Salto (2009). De acuerdo al número de dimensiones relevantes, los problemas de corte y empaquetado se pueden clasificar en unidimensionales, bidimensionales o tridimensionales (Salto, 2009, p. 49).

En la siguiente figura 29 se puede apreciar los tipos de corte.



Figura 29

Clasificación de los problemas de corte y empaquetado.



Fuente: (Ochoa Reiban, 2014)

Se distingue lo siguiente en la figura precedente: “en el corte unidimensional, se tiene un material tipo que debe ser cortado y luego del corte se obtiene como resultado un objeto cortado en cuatro piezas en el cual también se muestra un desperdicio. En cuanto al corte bidimensional de un objeto tipo se plantea como ejemplo una placa la cual será cortada y luego del corte se consiguen siete piezas, también se tiene un desperdicio. Por último en el corte tridimensional se supone una caja tipo en la cual se colocan o almacenarán cuatro volúmenes de menor tamaño” (Ochoa Reiban, 2014, p.19).

Están presentes actualmente una gran cantidad de problemas de Corte y Empaquetado (C&P) que se han estudiado en torno de estos últimos años. Para la presente investigación se explica sobre los problemas unidimensionales.

2.2.13.3. Problemas de corte de stock (Cutting Stock Problem-CSP).

De los problemas mencionados anteriormente, la investigación se centra en un tipo específico, los “Cutting Stock Problem” o “Problemas de Corte de Stock” los que tienen por objetivo según el autor Garcés Seguel (2007) de “plantear cómo debe cortarse un conjunto de ítems o piezas, las cuales tienen formas regulares o irregulares, todo ello a partir de formas más grandes las mismas que podrían ser también regulares o irregulares todo esto con el objetivo ya sea de maximizar la utilización o su equivalente, minimizar la pérdida de éste”.

Específicamente “este tipo de problemas tiene por propósito satisfacer las demandas de unas determinadas piezas que se deberán conseguirse por medio del



corte de un objeto más grande disponible en stock. Los patrones de corte generalmente se realiza persiguiendo el objetivo de minimizar los cortes o piezas residuales generadas por el mismo”, así lo indica Garcés Seguel (2007, p. 16).

2.2.13.4. Descripción y características del problema.

El autor Castro Atau (2010) señala que “el modelo que se plantea con la finalidad de optimizar las varillas de construcción es de tipo corte unidimensional, la modelación atiende a un problema de programación lineal”. Debe tenerse en cuenta que las variables de decisiones tiene que ser números enteros, puesto que habitualmente no es posible comprar fracciones de varillas.

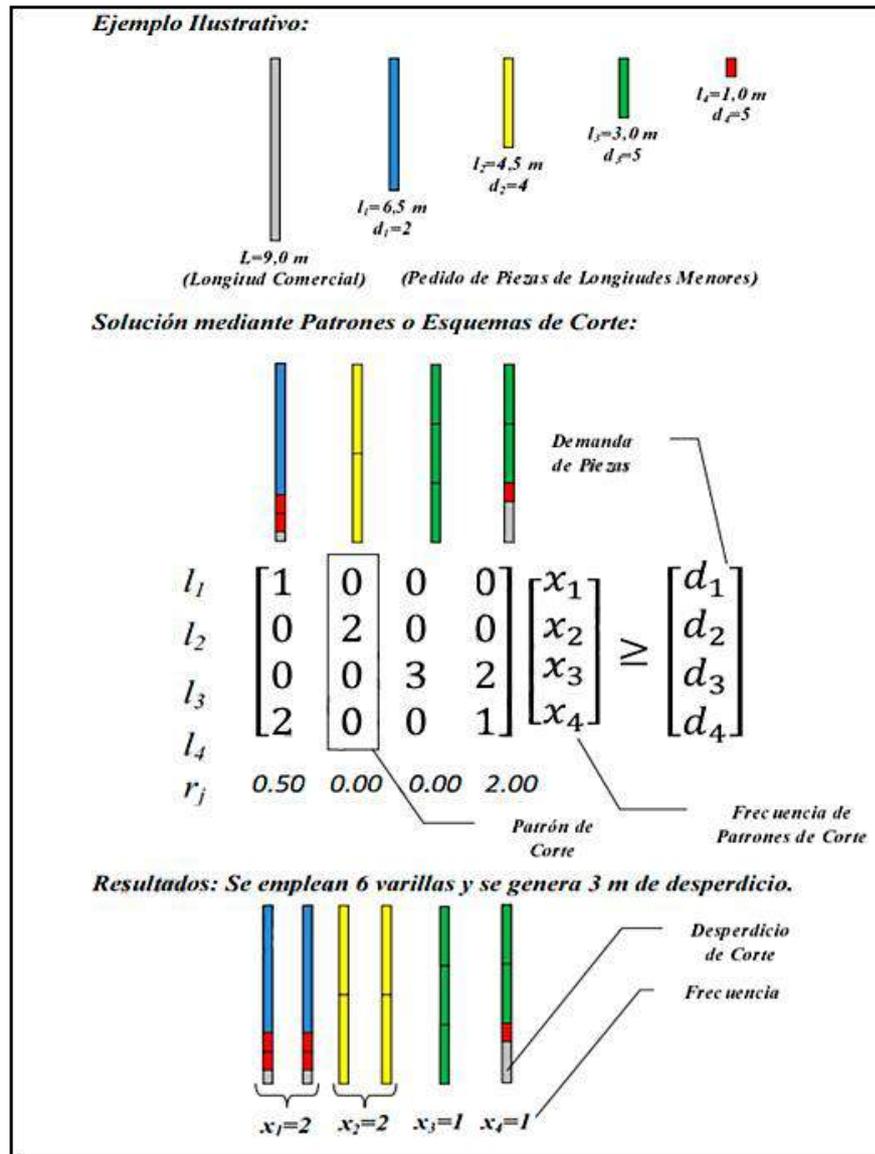
El autor Yober Castro señala que “el planteamiento del modelo se sustenta en el principio basado en patrones de corte presentado por Gilmore & Gomory”, resaltando que “un patrón de corte es una combinación factible de ítems para cada objeto en stock”. (Castro Atau, 2010)

El problema está basado en “efectuar cortes sobre los objetos para obtener los pedidos con el menor número de objetos enteros. Manteniendo la dimensión original de la materia prima, el fin es minimizar la cantidad de unidades de materia prima que se necesitan (presupuesto total) que es equivalente a minimizar el desperdicio”. Debiéndose determinar cómo cortar el menor número de longitudes comerciales “L”, atendiendo una demanda “di”, de piezas de tamaño “li”, y que el desperdicio “ri”, o la cantidad sobrante de los cortes, sea mínima”, así lo indica el autor Yober Castro Atau (2010, p. 30).

Se muestra un ejemplo y descripción detallada de un problema en la figura 30:

Figura 30

Ejemplo Ilustrativo de solución mediante patrón de corte.



Fuente: (Castro Atau, 2010, p. 31)

Los cortes se realizan para cada patrón de corte según el requerimiento total de piezas, cada patrón de corte hace uso de tiempo y trabajo, por tanto, la menor cantidad de patrones empleadas en un problema específico es la solución más eficiente.

Así mismo el autor Castro Atau (2010) formula que “la estructura lógica del problema de corte unidimensional debe contemplar un plan de sistematización detallada y profunda, diferenciando los datos en cuestión del siguiente modo”:



- “La longitud del objeto comercial o en stock”.
- “La lista de las longitudes o piezas pequeñas”.
- “Las combinaciones geométricas de piezas pequeñas que resulten de cada longitud comercial”.

2.2.14. Aplicaciones

Las industrias tienen problemas al realizar cortes de sus materias primas, provocando un alto porcentaje de desperdicio. “Esto causa una disminución en sus ganancias o en muchos casos pérdida de los recursos”(Ganosa Salazar & Solano Lazo, 2004, p. 27).

- “Fábricas de films de plástico: Minimización de desperdicios en el corte de rollos para película (film), que depende del material, la longitud y cantidad de la orden”.
- “Industria de la Construcción: Reduciendo costos, minimizando los desperdicios de las barras de acero, aluminio, etc., empleados en la construcción de edificios, puentes, etc”.
- “Industria maderera: Donde se realiza los cortes estándar de listones de un mismo ancho utilizados para la construcción de diferentes muebles”.
- “Industria papelera: Para suplir los requerimientos de los clientes que solicitan rollos de papel de diferente longitud, por ejemplo, de papel higiénico o papel toalla”.
- “Industria de cable: Se refiere a minimizar el sobrante en el corte de rollos de cables y alambres”.
- “Empleo de tuberías en edificaciones: El problema surge cuando las tuberías son de distintos tamaños de acuerdo al lugar donde se hacen las instalaciones”.

2.2.15. CutLogic 1D - software de resolución de CSP

CutLogic 1D es un software, que proporciona “optimizaciones de corte unidimensional para una amplia gama de materiales y prácticas. Mediante el uso de algoritmos inteligentes para abordar desafíos de corte complejos, determina automáticamente los planes de corte óptimos y agiliza las operaciones con una gestión de materiales mejorada, informes mejorados e importación y exportación de datos multiformato”.(TMachines, 2017)

Las soluciones CutLogic 1D están diseñadas con bases de datos altamente seguras y se pueden personalizar para satisfacer las necesidades específicas de los clientes.



CutLogic 1D es creado por la empresa TMachines, quienes se especializan en soluciones de software que ayudan a gestionar el proceso de corte industrial. Líderes en software de optimización de corte, comprometidos a brindar soluciones innovadoras.

Creado por ingenieros con experiencia en desarrollo de software y diseño de algoritmos, TMachines está presente en más de 70 países. También ofrecen servicios de consultoría para ayudar a las empresas a ganar eficiencia y obtener los mejores resultados de su inversión en software.

2.3. Marco conceptual

Área techada: “Es la suma de las superficies de las edificaciones techadas. Se calcula sumando la proyección de los límites de la poligonal que encierra cada piso, descontando los ductos” según (MVCS, 2006, cáp. G.040).

Armadura: Estructura plana de perímetro en forma poligonal, constituida por elementos longitudinales y verticales sometidas principalmente a esfuerzos de tracción y compresión.

Barra: “Elemento de medida longitudinal muy superior a la transversal”, así lo indica el (MVCS, 2006, cáp. E.010)

Cimentación: Elemento estructural que tiene como función transmitir las acciones de carga de la estructura al suelo de fundación.

Columna: Elemento estructural que se usa principalmente para resistir carga axial de compresión y que tiene una altura de por lo menos tres veces su dimensión lateral menor.

Convencional: Que reúne las características de lo que es habitual o tradicional.

Edificación: “Obra de carácter permanente, cuyo destino es albergar actividades humanas. Comprende las instalaciones fijas y complementarias adscritas a ella” según (MVCS, 2006)

Eficiencia: “Criterio económico que revela la capacidad administrativa de producir el máximo resultado con el mínimo de recurso, energía y tiempo, por lo que es la óptima utilización de los recursos disponibles para la obtención de resultados deseados” así lo formula el autor Rojas et al. (2018).



Escoria: Depósitos originados en el proceso de corte con oxígeno que se adhieren al metal base o superficie cortada.

Habilitar: Es la “operación que consiste en cortar y/o doblar una pieza a la disposición final de uso”(Castro Atau, 2010).

Losa: Elemento estructural de espesor reducido respecto a sus otras dimensiones usado como techo o piso, generalmente horizontal y armado en una o dos direcciones según el tipo de apoyo existente en su contorno. Usado también como diafragma rígido para mantener la unidad de la estructura frente a cargas horizontales de sismo.

Metrado: En conformidad con el Reglamento de la Ley de Contrataciones del Estado, “es el cálculo o la cuantificación por partidas de la cantidad de obra a ejecutar” (MVCS, 2010).

Muro de corte: Elemento estructural usado básicamente para proporcionar rigidez lateral y absorber porcentajes importantes del cortante horizontal sísmico.

Nivel o Piso: Espacio habitable limitado por una superficie inferior transitable y una superior que la techa. El último piso no tiene techo.

Obra: “Construcción, reconstrucción, remodelación, demolición, renovación y habilitación de bienes inmuebles, tales como edificaciones, habilitaciones urbanas, estructuras, excavaciones, perforaciones, vías urbanas, puentes, entre otros, que requieren dirección técnica, expediente técnico, mano de obra, materiales y/o equipos” así lo indica el MVCS (2010).

Partida: El ministerio de vivienda, construcción y saneamiento (MVCS, 2010) señala que “se denomina así a cada uno de los rubros o partes en que se divide convencionalmente una obra para fines de medición, evaluación y pago. De acuerdo a las tareas dentro del proceso productivo de la obra las partidas se dividen en partidas de primer, segundo, tercer y cuarto orden respectivamente; que indicarán, asimismo, a medida que se varíe de orden, mayor precisión del trabajo a efectuarse”.

Placa: “Muro portante de concreto armado”, diseñado de acuerdo a las especificaciones de la Norma Técnica de Edificación E.060 Concreto Armado.



Prearmar: Poner en su lugar los elementos y componentes de una construcción sin asegurar las uniones de modo definitivo.

Presupuesto de obras: Salinas Seminario (2010) define un presupuesto de obra como “la determinación del valor de dicha obra conociendo los siguientes parámetros:

- a) Las partidas que se necesitan (codificadas).
- b) Los metrados de cada una de esas partidas (sustentadas).
- c) Los costos unitarios de cada una de las partidas (revisadas).
- d) Los porcentajes de Gastos Generales (sustentadas) y Utilidad (estimada) a aplicar a la obra (costo indirecto).
- e) El impuesto general a la venta (18%)”

Propietario: Persona natural o jurídica que acredita ser titular del dominio del predio al que se refiere una obra.

Proyecto: De acuerdo al Reglamento Nacional de Edificaciones, “es el conjunto de actividades que demandan recursos múltiples que tienen como objetivo la materialización de una idea. Información técnica que permite ejecutar una obra de edificación o habilitación urbana”(MVCS, 2010).

Sistema constructivo: Es el ordenamiento de piezas para formar elementos, componentes o volúmenes los que ensamblados conforman el cuerpo total de la edificación. Determina la forma de construir.

Viga: Elemento estructural de medidas longitudinales mayores que las transversales y que trabaja fundamentalmente a flexión.

Zapata: Parte de la cimentación de una estructura que reparte y transmite la carga directamente al terreno de cimentación o a pilotes.



2.4. Hipótesis

2.4.1. *Hipótesis general*

- Los kilogramos totales de acero post ejecución supera en un 5% al modelado BIM de acero con Revit y CutLogic considerando variaciones implícitas en el habilitado.

2.4.2. *Sub hipótesis*

Sub-Hipótesis N° 01.

- Los kilogramos totales de acero de un metrado considerando dobleces de las piezas es menor que sin considerarlo.

Sub-Hipótesis N° 02.

- El porcentaje de kilogramos empleados en el proceso de corte de acero supera el 1% respecto del total metrado.

Sub-Hipótesis N° 03.

- Los kilogramos totales de acero de una optimización considerando la longitud real es menor a una optimización considerando la longitud teórica de varilla.

2.5. **JVariable(s) e indicadores**

2.5.1. *Variables dependientes*

- La diferencia de cantidad del acero post ejecución y el modelado de acero con Revit considerando variaciones implícitas en el habilitado.

2.5.2. *Variables independientes*

- Kilogramos totales de acero incluyendo la variación por dobleces.



- Kilogramos totales de acero empleados en el proceso de corte.
- Kilogramos totales de acero empleados por optimización en longitud real de varilla.

2.5.3. Indicadores de variables dependientes

- Kilogramos totales de acero liquidados en obra post ejecución.
- Kilogramos totales de acero modelado con Revit considerando variaciones implícitas en el habilitado.

2.5.4. Indicadores de variables independientes

- Metrado de acero utilizando modelado BIM.
- Cantidad de cortes según patrones de cortes asignados.
- Grosor de desgaste por corte in situ.
- Cantidad de varillas a usar según patrones de cortes asignados.
- longitud real de varillas in situ



2.5.5. Cuadro de operacionalización variables y matriz de consistencia

Tabla 19 Cuadro de operacionalización de variables.

CUADRO DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

DENOMINACIÓN	TIPO	NATURALEZA	MEDICIÓN	INDICADOR	INSTRUMENTOS
Diferencia de cantidad del acero post ejecución y el modelado BIM de acero con Revit y CutLogic considerando variaciones implícitas en el habilitado.	Dependiente.	Cuantitativa.	De intervalo.	*Kilogramos totales de acero liquidados en obra post ejecución. *Kilogramos totales de acero modelado BIM con Revit y CutLogic considerando variaciones implícitas en el habilitado.	°Hoja de liquidación de kilogramos de acero de obra. ° Hoja de calculo Excel °Revit
*Kilogramos totales de acero incluyendo la variación por dobleces.	Independiente.	Cuantitativa.	De intervalo.	*Metrado de acero utilizando modelado BIM	°Autocad ° Hoja de cálculo Excel °Revit
*Kilogramos totales de acero empleados en el proceso de corte.	Independiente.	Cuantitativa.	De intervalo.	*Cantidad de cortes según patrones de cortes asignados. *Grosor de desgaste por corte in situ.	°Revit °Patrón de corte °Registro de cantidad y grosor de corte en obra.
*Kilogramos totales de acero empleados por optimización en longitud real de varilla.	Independiente.	Cuantitativa.	De intervalo.	*Cantidad de varillas a usar según patrones de cortes asignados. *Longitud real de varillas in situ.	°Revit °Patrón de corte °Registro de cantidad y longitud de varilla en obra.

Tabla 20 Matriz de consistencia.

MATRIZ DE CONSISTENCIA								
TEMA: "ANÁLISIS COMPARATIVO DEL ACERO POST EJECUCIÓN FRENTE AL MODELADO BIM DE ACERO CON REVIT Y CUTLOGIC CONSIDERANDO VARIACIONES IMPLÍCITAS EN EL HABILITADO"								
PROBLEMA		OBJETIVOS		HIPÓTESIS	VARIABLE	INDICADOR	INSTRUMENTOS	UNIDADES
PROBLEMA GENERAL		OBJETIVO GENERAL		HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLE DEPENDIENTE	INDICADOR DEPENDIENTE		
PG ¿Cuál es la diferencia porcentual de los kilogramos totales del acero post ejecución frente al modelado BIM de acero con Revit y CutLogic considerando variaciones implícitas en el habilitado?	OG	Hallar la diferencia porcentual de los kilogramos totales del acero post ejecución frente al modelado BIM de acero con Revit y CutLogic considerando variaciones implícitas en el habilitado.	HG	Los kilogramos totales de acero post ejecución supera en un 5% al modelado BIM de acero con Revit y CutLogic considerando variaciones implícitas en el habilitado.	La diferencia de cantidad del acero post ejecución y el modelado BIM de acero con Revit y CutLogic considerando variaciones implícitas en el habilitado.	*Kilogramos totales de acero liquidados en obra post ejecución.	°Hoja de liquidación de kilogramos de acero de obra.	°kg/tn
						*Kilogramos totales de acero del modelado BIM con Revit y CutLogic considerando variaciones implícitas en el habilitado.	° Hoja de calculo Excel	°ml/kg
							°Revit	°ml/kg
PROBLEMA ESPECÍFICO		OBJETIVO ESPECÍFICO		HIPÓTESIS ESPECÍFICA	VARIABLE INDEPENDIENTE	INDICADOR INDEPENDIENTE		
PE1 ¿Cuál es la variación porcentual de kilogramos totales de acero entre un metrado que considera variaciones por dobleces de las piezas y sin considerar?	OE1	Determinar la variación porcentual de kilogramos totales de acero entre un metrado que considera variaciones por dobleces de las piezas y sin considerar.	HE1	Los kilogramos totales de acero de un metrado considerando dobleces de las piezas es menor que sin considerar.	*Kilogramos totales de acero incluyendo la variación por dobleces.		°Autocad	°ml
						*Metrado de acero utilizando modelado BIM	° Hoja de calculo Excel	°ml/kg
							°Revit	°kg
PE2 ¿Cuál es el porcentaje de kilogramos totales de acero empleados en el proceso de corte para habilitado de acero?	OE2	Demostrar el porcentaje de kilogramos totales de acero empleados en el proceso de corte para habilitado de acero.	HE2	El porcentaje de kilogramos empleados en el proceso de corte de acero supera el 1% respecto del total metrado.	*Kilogramos totales de acero empleados en el proceso de corte.		°Revit	°ml/kg
						*Cantidad de cortes según patrones de cortes asignados. *Grosor de desgaste por corte in situ.	°Patrón de corte	°ml/varilla/kg
							°Registro de cantidad y grosor de corte en obra.	°cm/mm/und
PE3 ¿Cuál es la variación porcentual de kilogramos totales de acero entre una optimización considerando la longitud real y teórica de varilla?	OE3	Determinar la variación porcentual de kilogramos totales de acero entre una optimización considerando la longitud real y teórica de varilla.	HE3	Los kilogramos totales de acero de una optimización considerando la longitud real es menor a una optimización considerando la longitud teórica de varilla.	*Kilogramos totales de acero empleados por optimización en longitud real de varilla.		°Revit	°ml/kg
						*Cantidad de varillas a usar según patrones de cortes asignados. *longitud real de varillas in situ.	°Patrón de corte	°ml/varilla/kg
							°Registro de cantidad y longitud de varilla en obra.	°cm/mm/und

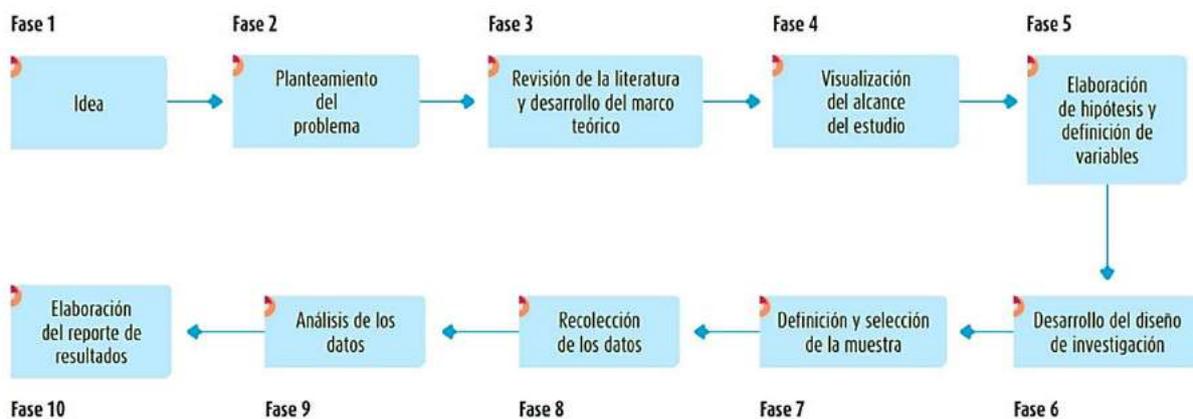
3. Capítulo III: DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Tipo de investigación

La investigación se clasifica como **cuantitativa**, según Hernandez Sampieri et al., (2010) es un conjunto de procesos secuenciales y probatorio con propósito de recolección de datos que tiene como finalidad comprobar la hipótesis.

Figura 31

Procesos de investigaciones cuantitativas.



Fuente: Información recopilada del libro de metodologías de la investigación del Dr. Roberto Hernandez Sampieri et al., (2010).

Una de las principales características del enfoque es la recolección de los datos que se obtendrán en la obra de construcción, analizar los datos recolectados y de esa manera demostrar su validez y evidenciar la hipótesis.

3.2. Alcance del estudio

El alcance del estudio está en función de la estrategia de investigación. De esta forma el diseño, los procedimientos y otros componentes del proceso serán distintos en estudios con alcance exploratorio, descriptivo, correlacional o explicativo, “pero en la práctica, cualquier investigación puede incluir elementos de más de uno de estos cuatro alcances” así lo señala Hernandez Sampieri et al. (2010, p. 78).



En la presente investigación los alcances son los siguientes:

- **Nivel Exploratorio.**

En el libro “Metodología de la investigación – quinta edición” el autor Hernandez Sampieri et al. (2010) indica que “los estudios exploratorios tienen como objetivo esencial familiarizarnos con un tópico desconocido o poco estudiado. Esta clase de investigaciones sirven para desarrollar métodos que se utilicen en estudios más profundos del cual se tienen muchas dudas o no se ha abordado antes”. Puede decirse que es “cuando la revisión de la literatura revela que tan sólo hay guías no investigadas e ideas vagamente relacionadas con el problema de estudio y se desea indagar sobre temas y áreas desde nuevas perspectivas”(Hernandez Sampieri et al., 2010, p. 79).

Los estudios exploratorios tienen el propósito de habituarnos con fenómenos relativamente desconocidos y conseguir información acerca de la posibilidad de llevar a cabo una investigación más completa respecto de un contexto específico.

- **Nivel Descriptivo.**

Según los mismos autores Hernandez Sampieri et al. (2010), los estudios descriptivos “buscan especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis”. En consecuencia, su fin es específicamente medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables a las que se refieren.

En este tipo de estudios “el investigador tiene que ser capaz de definir, o al menos visualizar, qué se medirá (qué conceptos, variables, componentes, etc.) y sobre qué o quiénes se recolectarán los datos (personas, grupos, comunidades, objetos, animales, hechos, etc.)” así lo señalan Hernandez Sampieri et al. (2010, p. 81).

3.3. Diseño de la investigación

Partiendo de la premisa de que se analizará las variaciones implícitas de longitud de desarrollo causado por los procesos tradicionales de habilitado del acero, la investigación tiene un diseño “no experimental”, puesto que según Sampieri et al. (2010), “lo que se hace en la investigación no experimental es observar fenómenos tal como se dan en su contexto natural, para posteriormente analizarlos”.



En este tipo de diseño “no experimental” podemos diferenciar dos tipos: transeccional y longitudinal, para el presente caso de estudio se hará uso del diseño “transeccional” propuesto por los autores Hernandez Sampieri et al. (2010, p. 149).

- **Investigación No Experimental – Transeccional.**

“Se recolectan datos en un solo momento, en un tiempo único. Su propósito es describir variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado”(Hernandez Sampieri et al., 2010).

El propósito de los diseños transeccionales de alcance exploratorio es comenzar a conocer una variable o un conjunto de variables, una comunidad, un contexto, un evento, una situación. “Se trata de una exploración inicial en un momento específico, por lo general, se aplican a problemas de investigación nuevos o poco conocidos, además constituyen el preámbulo de otros diseños”, así lo plantea Hernandez Sampieri et al. (2010, p. 151).

3.4. Población

Con los conceptos planteados por Sampieri et al. (2010), primero se define la unidad de “muestreo/análisis” que para la presente investigación son: *las varillas enteras de acero recepcionadas para la obra y las piezas habilitadas del mismo.*

Una vez definida esta unidad se delimita la población.

- Todas las varillas de acero A615 – G60 enteras recepcionadas en obra, en la presentación de 9 metros y cualquiera de sus diámetros producidas por Acero Arequipa o Sider Perú, y que pertenezcan al requerimiento de las partidas de concreto armado del proyecto.
- Asu vez todas las piezas de acero A615 – G60 producidas y habilitadas en obra, que hayan necesitado o no ser cortadas y requieran o no ser dobladas, para ser ubicadas en el armazón de acero que pertenezcan al diseño de las partidas de concreto armado del proyecto.

3.5. Muestra

La muestra es “un subconjunto de elementos que pertenecen al conjunto definido en sus características al que llamamos población” según Hernández Sampieri et al. (2010, p. 172).



La muestra de la investigación presentada es “probabilística”, la principal ventaja es que puede medirse el tamaño del error en nuestras predicciones.

“Las unidades o elementos muestrales tendrán valores muy parecidos a los de la población, de manera que las mediciones en el subconjunto nos darán estimados precisos del conjunto mayor”(Hernandez Sampieri et al., 2010).

Para calcular el tamaño se hace uso de la siguiente fórmula

Fórmula 1

Muestra de poblaciones finitas.

$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * q}{d^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * q}$$

La primera población es el promedio ponderado de varillas utilizadas por área total techada construida:

Tabla 21

Total de varillas empleadas según post ejecución en los proyectos estudiados.

Población	Total de varillas empleadas (varilla)	Área total techada construida (m2)
PROYECTO 1	5003	1109.80
PROYECTO 2	7463	1250.94
PROYECTO 3	5251	1012.62
PROMEDIO PONDERADO	5990	varillas

Nota: Los datos son extraídos de la información proporcionada en anexos, apéndice E.

El cálculo para la muestra es el siguiente:

$$n1 = \frac{5990 * 1.96^2 * 0.50 * 0.50}{0.05^2 * (5990 - 1) + 1.96^2 * 0.50 * 0.50} = 362 \text{ und}$$

Donde:



N = El tamaño de la primera población está en función del promedio ponderado de varillas de acero A615 – G60 enteras recepcionadas, según el área total techada construida, de los proyectos (5990; información extraída del apéndice E).

Z_{α} = Nivel de confianza del 95% (factor = 1.96)

d = Error de estimación máximo aceptado del 5% (factor = 0.05)

p = Proporción esperada del 50% (factor = 0.50)

q = $1 - p$ (en este caso $1 - 0.50$, factor = 0.50)

El tamaño de la muestra para la primera población es de 362 unidades de varillas de acero A615 – G60 enteras recepcionadas.

La segunda población se calcula con el promedio ponderado de piezas utilizadas por área total techada construida:



Tabla 22

Total de piezas empleadas según modelado BIM por diámetro en los proyectos estudiados.

PROYECTO - 1

Descripción	Unidad	a	Σa
		Metrado	TOTAL
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 1/4" O 6MM	PIEZA	808	18575
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 3/8"	PIEZA	12816	
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 1/2"	PIEZA	2692	
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 5/8"	PIEZA	705	
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 3/4"	PIEZA	1554	
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 1"	PIEZA	0	

PROYECTO - 2

Descripción	Unidad	a	Σa
		Metrado	TOTAL
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 1/4" O 6MM	PIEZA	743	28714
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 3/8"	PIEZA	19627	
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 1/2"	PIEZA	5543	
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 5/8"	PIEZA	2642	
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 3/4"	PIEZA	159	
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 1"	PIEZA	0	

PROYECTO - 3

Descripción	Unidad	a	Σa
		Metrado	TOTAL
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 1/4" O 6MM	PIEZA	499	17806
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 3/8"	PIEZA	11899	
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 1/2"	PIEZA	3957	
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 5/8"	PIEZA	1112	
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 3/4"	PIEZA	339	
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 1"	PIEZA	0	

Nota: Los datos son extraídos de la información obtenida en el proceso de modelado explicado en el índice 4.1.4.



Tabla 23

Total de piezas empleadas según modelado BIM en los proyectos estudiados.

Población	Total de piezas empleadas (und)	Área total techada (m2)
PROYECTO 1	18575	1109.80
PROYECTO 2	28714	1250.94
PROYECTO 3	17806	1012.62
PROMEDIO PONDERADO	22104	piezas

Nota: La totalidad de piezas a usarse se explica en la tabla 22, el área total techada es información recopilada de los anexos, apéndice E.

El cálculo para la muestra es el siguiente:

$$n_2 = \frac{22104 * 1.96^2 * 0.50 * 0.50}{0.05^2 * (22104 - 1) + 1.96^2 * 0.50 * 0.50} = 378 \text{ und}$$

Donde:

N = El tamaño de la segunda población está en función del promedio ponderado de piezas de acero A615 – G60 producidas y habilitadas en obra, según el área total techada construida, de los proyectos (22104; información extraída de la tabla 22, según modelos).

Z_{α} = Nivel de confianza del 95% (factor = 1.96)

d = Error de estimación máximo aceptado del 5% (factor = 0.05)

p = Proporción esperada del 50% (factor = 0.50)

$q = 1 - p$ (en este caso 1-0.50, factor =0.50)

El tamaño de la muestra para la segunda población es de 378 unidades de piezas de acero A615 – G60 producidas y habilitadas en obra.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.6.1. Técnica - observación directa: no experimental y experimental

Las técnicas de recolección de datos son “un conjunto de procedimientos organizados para recolectar datos correctos que conllevan a medir una o más variables”(Castro Atau, 2010);



para la presente tesis se aplicara la observación directa tanto no experimental y experimental, resaltando que las muestras están conformadas por dos tipos de poblaciones.

La observación directa no experimental se realiza durante la recepción de las varillas de acero A615 – G60 y la habilitación de las piezas para la ejecución de armazón perteneciente al concreto armado. A su vez esta técnica será aplicada en el trabajo de recolección de información de acero liquidado de obra.

La observación directa experimental se realiza en el transcurso de la realización del nuevo metrado de acero A615 – G60 para las partidas de concreto armado considerando las variaciones de longitud implícitas en el habilitado, pues se compilarán datos bajo la influencia y condiciones controladas relativamente por el autor.

3.6.2. Instrumentos de recolección de datos

Se indica que “cada vez es más común ver estudios en los que se utilizan diferentes métodos de recolección de datos. En los estudios cuantitativos no es extraño que se incluyan varios tipos al mismo tiempo que pruebas estandarizadas y recopilación de contenidos para análisis estadístico u observación” (Hernandez Sampieri et al., 2010, p. 254) . Utilizar diversos instrumentos ayuda a establecer la validez de criterio; es conveniente, hasta donde lo permita el presupuesto para investigar; en la presente investigación se usa los siguientes:

- **Dispositivos mecánicos o electrónicos.**

Sistemas de medición por aparatos o equipos como los siguientes: flexómetro, calibrador Vernier (para la evaluación de longitud), computadora con softwares específicos -Microsoft Excel, Revit 2020, CutLogic 1D, Dynamo - (para la evaluación de metrados totales de acero de las partidas de concreto armado).

- **Hojas de Registro.**

La hoja de registro se empleará para ambos grupos de muestra, por medio del cual observaremos indicadores específicos por cada dimensión, y luego procesarlos.

La primera hoja de registro que se aplicó es un instrumento que mide la longitud real de varillas de acero A615 – G60 recepcionado, Consta de 3 ítems que



responden: marca de la varilla, diámetro en pulgadas, longitud real de varilla entera en metros.

La segunda hoja de registro que se aplicó, mide la diferencia de longitud que existe entre una varilla completa inicial y la suma de sus partes después del proceso de despiece con el objetivo de calcular cual es el promedio de longitud de varilla consumido en el proceso de corte. Consta de 5 ítems que responden: descripción de disco de corte, diámetro en pulgadas, longitud inicial antes de corte en metros, longitud de pieza requerida en metros, longitud del resto de varilla en metros.

- **Instrumentos específicos propios de la disciplina.**

En las diferentes disciplinas de estudio se han generado métodos específicos para recolectar datos sobre variables particulares. Para la presente investigación se utilizará como instrumentos específicos: Hoja registro de metrados de acero y Hoja registro de acero liquidado de obra.

3.7. Validez y confiabilidad de los instrumentos

3.7.1. Hoja de registro de longitud real de varilla de acero A615 – G60 recepcionadas

Este instrumento de recolección de datos consta de tres columnas, donde se debe ingresar únicamente los siguientes datos: marca del acero, diámetro de varilla, longitud medida en metros con exactitud de tres decimales (milímetro). Como se muestra en la figura a continuación.



Figura 32

Hoja de registro de longitud real de varilla de acero.

 Universidad Andina del Cusco	"ANÁLISIS COMPARATIVO DEL ACERO POST EJECUCION FRENTE AL MODELADO BIM DE ACERO CON REVIT Y CUTLOGIC CONSIDERANDO VARIACIONES IMPLÍCITAS EN EL HABILITADO"	 Ingenieria Civil	
<i>HOJA DE REGISTRO DE LONGITUD REAL DE VARILLA DE ACERO A615 -G60 RECEPCIONADAS</i>			
Obra:			
Partida:	Acero en OE.2.3 Obras de Concreto Armado		
Ejecutado por:			
N°	Marca	Diámetro (pulg.)	Longitud Real (metros - x.xx m)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

Nota: *El formato es anexado en el apéndice A de la presente.*

3.7.2. Hoja de registro de cálculo de espesor de corte en varilla

Este instrumento de recolección de datos consta de seis columnas, donde se debe ingresar los siguientes datos: Descripción de disco de corte, diámetro del acero cortado, longitud inicial de varilla, longitud de la nueva pieza 1, longitud de la nueva pieza 2, Espesor de corte por diferencia en milímetros.

Como se muestra en la figura 33 a continuación



Figura 33

Hoja de registro de cálculo de espesor de corte en varilla.

		"ANÁLISIS COMPARATIVO DEL ACERO POST EJECUCION FRENTE AL MODELADO BIM DE ACERO CON REVIT Y CUTLOGIC CONSIDERANDO VARIACIONES IMPLÍCITAS EN EL HABILITADO"					
<i>HOJA DE REGISTRO DE CALCULO DE ESPESOR DE CORTE EN VARILLA</i>							
Obra:							
Partida:		Acero en OE.2.3 Obras de Concreto Armado					
Ejecutado por:							
N°	Descripción de disco de corte	Diámetro (pulg.)	L _{inicial} (m)	L _{p n} (m)	L _{R n} (m)	Espesor calculado (mm)	
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							

Nota: *El formato es anexado en el apéndice A de la presente.*

3.7.3. Hoja de registro de datos proporcionados por entidades colaboradoras

Este instrumento de recolección de datos consta de cuatro campos, donde se debe ingresar los siguientes datos: Información básica (nombre de la empresa o entidad, nombre del proyecto, ubicación, entre otros), seleccionar la forma de entrega de información de la estructura de concreto armado (planos o modelado), Cantidad de Acero ASTM A615 Grado 60 en presupuestado en partidas de concreto armado y cantidad de Acero ASTM A615 Grado 60 ejecutado en partidas de concreto armado.

El formato es anexado en el apéndice A de la presente, siendo un aporte de la investigación.



4. Capítulo IV: RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. Recolección de Datos

4.1.1. Longitud real de varilla

En esta etapa de recolección de datos in-situ fue necesario medir la cantidad total de varillas requeridas según los cálculos de muestra indicados en el capítulo 3.5 de la presente investigación.

Para el proceso se emplea el instrumento explicado en el capítulo 3.7.1 que permite recolectar la información necesaria, también se hizo uso del flexómetro de veinte metros marca Kamasa. La totalidad de los datos recolectados son tipeados y anexados en el apéndice C.

Figura 34

Instalaciones de entidad colaboradora PROMASA.



Nota: *Visita a instalaciones para recolección de información.*

Figura 35

Proceso de medición de longitud real de varilla en PROMASA.



Nota: Ejecución de las mediciones de longitud real de varilla para el diámetro de 1/4".

Figura 36

Hoja de registro de longitud real de varilla de acero con datos tipeados.

		"ANÁLISIS COMPARATIVO DEL ACERO POST EJECUCION FRENTE AL MODELADO BIM DE ACERO CON REVIT Y CUTLOGIC CONSIDERANDO VARIACIONES IMPLÍCITAS EN EL HABILITADO"			
HOJA DE REGISTRO DE LONGITUD REAL DE VARILLA DE ACERO A615 -G60 RECEPCIONADAS					
Obra:		PROMASA - Empresa Distribuidora de Acero			
Partida:		Acero en OE.2.3 Obras de Concreto Armado			
Ejecutado por:		Bach. Ing. Rodrigo E. Ttica Gonzalez			
N°	Marca	Diámetro (pulg.)	Longitud Real (metros - x.xxx m)		
1	A. Arequipa	3/8"	9.019		
2	A. Arequipa	3/8"	9.020		
3	A. Arequipa	3/8"	9.021		
4	A. Arequipa	3/8"	9.022		
5	A. Arequipa	3/8"	9.024		
6	A. Arequipa	3/8"	9.022		
7	A. Arequipa	3/8"	9.019		
8	A. Arequipa	1/2"	9.018		
9	A. Arequipa	1/2"	9.016		
10	A. Arequipa	1/2"	9.011		
11	A. Arequipa	1/2"	9.015		
12	A. Arequipa	1/2"	9.015		
13	SiderPeru	1/2"	9.012		
14	SiderPeru	1/2"	9.011		

Nota: El formato con la información completa es anexado en el apéndice C.



4.1.2. *Espesor consumido por corte de varilla*

El siguiente dato es recolectado con el instrumento presentado en el capítulo 3.7.2 que permite obtener la información necesaria para el análisis, se hizo uso del flexómetro de ocho metros marca Stanley y un calibrador Vernier como herramienta de precisión.

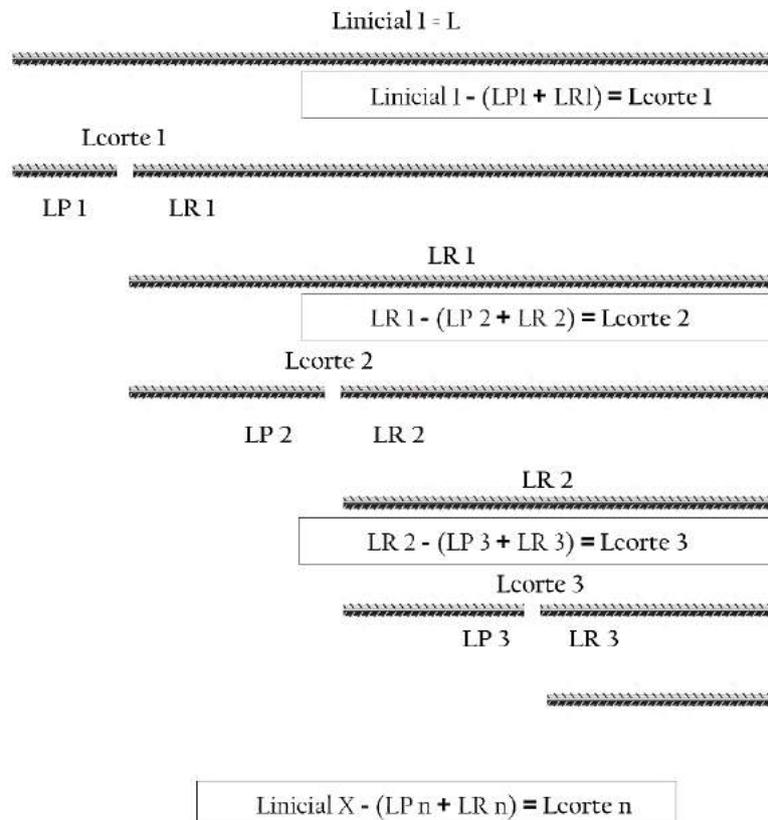
Se recogió la información de las 378 piezas, según lo indica el cálculo de muestra en el capítulo 3.5 de la presente investigación.

A continuación, se explica el proceso empleado e imágenes del desarrollo.

Para poder medir la longitud consumida por corte es necesario medir la longitud inicial de la pieza antes de cortar y continuar midiendo las dos nuevas piezas para restar estas longitudes de la longitud inicial y obtener la diferencia, como se explica en la imagen a continuación:

Figura 37

Proceso analítico de la recolección de datos para hallar el espesor de corte consumido.



Nota: *El proceso analítico se basa en la diferencia de longitud.*



La totalidad de los datos recolectados son anexados en el apéndice D.

A continuación, imágenes del desarrollo de recolección de estos datos:

Figura 38

Proceso de corte con amoladora angular en campo.



Nota: *Proceso de corte de varilla de 5/8" con amoladora angular.*

Figura 39

Proceso de corte con tronzadora metálica en campo.



Nota: *Proceso de medición de resto de varilla de 3/4", ejecutado con tronzadora metálica.*

Figura 40

Hoja de registro de cálculo de espesor de corte en varilla con datos tipeados.

		"ANÁLISIS COMPARATIVO DEL ACERO POST EJECUCION FRENTE AL MODELADO BIM DE ACERO CON REVIT Y CUTLOGIC CONSIDERANDO VARIACIONES IMPLÍCITAS EN EL HABILITADO"				
HOJA DE REGISTRO DE CALCULO DE ESPESOR DE CORTE EN VARILLA						
Obra:		Estructuras Metalicas SOL DE ORO - Gte.Gral. Julio E. Ttica H.				
Partida:		Acero en OE.2.3 Obras de Concreto Armado				
Ejecutado por:		Bach. Ing. Rodrigo E. Ttica Gonzalez				
N°	Descripción de disco de corte	Diámetro (pulg.)	L _{inicial} X (m)	L _{p n} (m)	L _{R n} (m)	Espesor calculado (mm)
1	Dewalt (e= 2.4mm) - Amoladora Angular	1/2"	1.2000	0.0558	1.1411	0.0031
2	Dewalt (e= 2.4mm) - Amoladora Angular	1/2"	1.1411	0.0765	1.0617	0.0029
3	Dewalt (e= 2.4mm) - Amoladora Angular	1/2"	1.0617	0.0810	0.9778	0.0029
4	Dewalt (e= 2.4mm) - Amoladora Angular	1/2"	0.9778	0.0913	0.8834	0.0031
5	Dewalt (e= 2.4mm) - Amoladora Angular	1/2"	0.8834	0.1188	0.7617	0.0029
6	Dewalt (e= 2.4mm) - Amoladora Angular	1/2"	0.7617	0.0694	0.6895	0.0028
7	Dewalt (e= 2.4mm) - Amoladora Angular	1/2"	0.6895	0.0638	0.6227	0.0030
8	Dewalt (e= 2.4mm) - Amoladora Angular	1/2"	0.6227	0.1093	0.5105	0.0029
9	Dewalt (e= 2.4mm) - Amoladora Angular	1/2"	0.5105	0.0911	0.4163	0.0031
10	Dewalt (e= 2.4mm) - Amoladora Angular	1/2"	0.4163	0.1141	0.2991	0.0031
11	Dewalt (e= 2.4mm) - Amoladora Angular	1/2"	0.2991	0.1162	0.1799	0.0030
12	Dewalt (e= 2.4mm) - Amoladora Angular	1/2"	0.1799	0.0641	0.1130	0.0028
13	Dewalt (e= 2.4mm) - Amoladora Angular	1/2"	0.1130	0.0471	0.0629	0.0030
14	Dewalt (e= 2.4mm) - Amoladora Angular	3/8"	1.3500	0.1052	1.2418	0.0030

Nota: El formato con la información completa es anexado en el apéndice C.

4.1.3. Planos, presupuesto y cantidad de acero utilizadas en proyectos

Para esta etapa de recolección de datos in-situ fue necesario presentarse personalmente y presentar el tema de investigación a las empresas y entidades; explicando todo el proceso de trabajo y los beneficios del mismo.

Para solicitar la colaboración informativa se utilizó el formato de solicitud de autorización para la recolección y/o uso de datos anexado en el apéndice B de la presente, siendo un aporte de la investigación.

El siguiente paso, para el proceso de recolección de datos propiamente, se empleó el instrumento explicado en el capítulo 3.7.3 que permite recolectar la información necesaria.

Los proyectos en estudio son tres; la totalidad de los datos recolectados son anexados en el apéndice E.



Figura 41

Información básica de proyecto 1.

PROYECTO 1

Nombre de empresa:
JR Inmobiliaria y Construcción

Nombre de proyecto:
RESIDENCIAL BARILOCHE

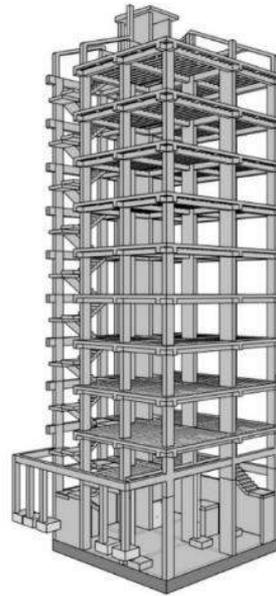
Ubicación:

Departamento: Cusco

Provincia: Cusco

Distrito: Wanchaq

Área techada total: 1109.80 m²



Nota: Los datos completos son anexados en el apéndice E.

Figura 42

Información básica de proyecto 2.

PROYECTO 2

Nombre de empresa:
Ing. Edison Simon Ponce Cordova

Nombre de proyecto:
Vivienda Multifamiliar - Edificio

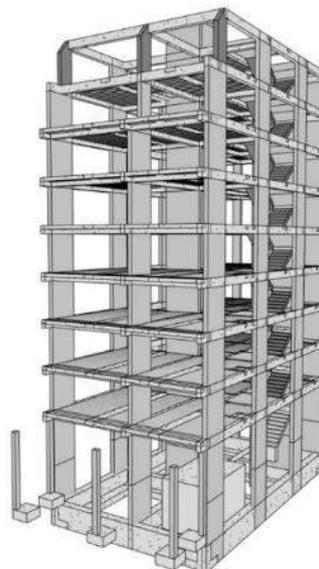
Ubicación:

Departamento: Cusco

Provincia: Cusco

Distrito: -

Área techada total: 1250.94 m²



Nota: Los datos completos son anexados en el apéndice E.



Figura 43

Información básica de proyecto 3.

PROYECTO 3

Nombre de empresa:

Ing. Ruben Gerson Ccana Parra

Nombre de proyecto:

Vivienda Multifamiliar Particular

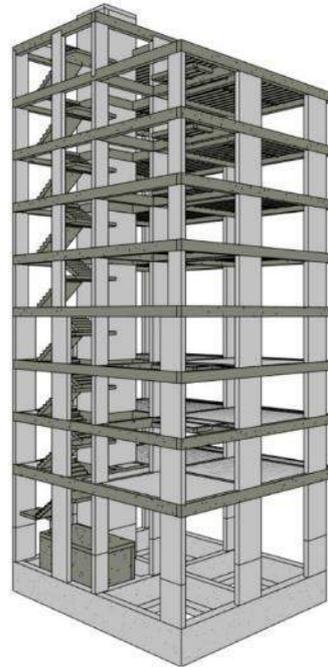
Ubicación:

Departamento: Cusco

Provincia: Cusco

Distrito: -

Área techada total: 1012.62 m²



Nota: *Los datos completos son anexados en el apéndice E.*

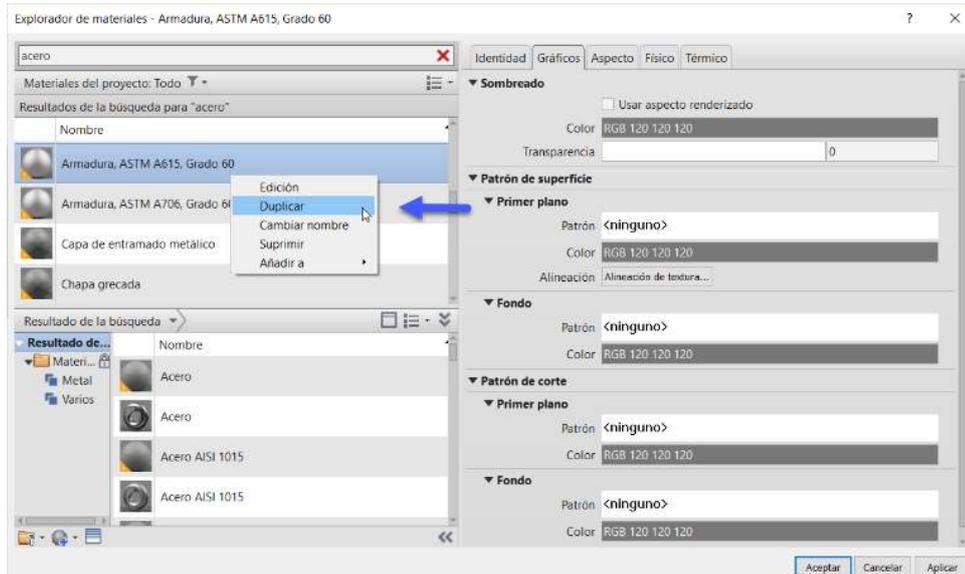
4.1.4. Proceso de Modelado

4.1.4.1. Procedimiento de configuración de propiedades de materiales.

Primero fueron creados los materiales de trabajo, en el software Revit 2020, con las características necesarias y colores representativos para cada diámetro basados en el acero ASTM A-615 G.60; el método recomendado para crear un nuevo material es “duplicar un material existente que sea similar al que se desea crear, y luego editar el nombre y otros atributos según sea necesario. Si no está disponible ningún material similar, puede crear un nuevo material desde cero.” No obstante, este método normalmente requiere más trabajo de edición.

Figura 44

Ventana de explorador de materiales, para crear el material.

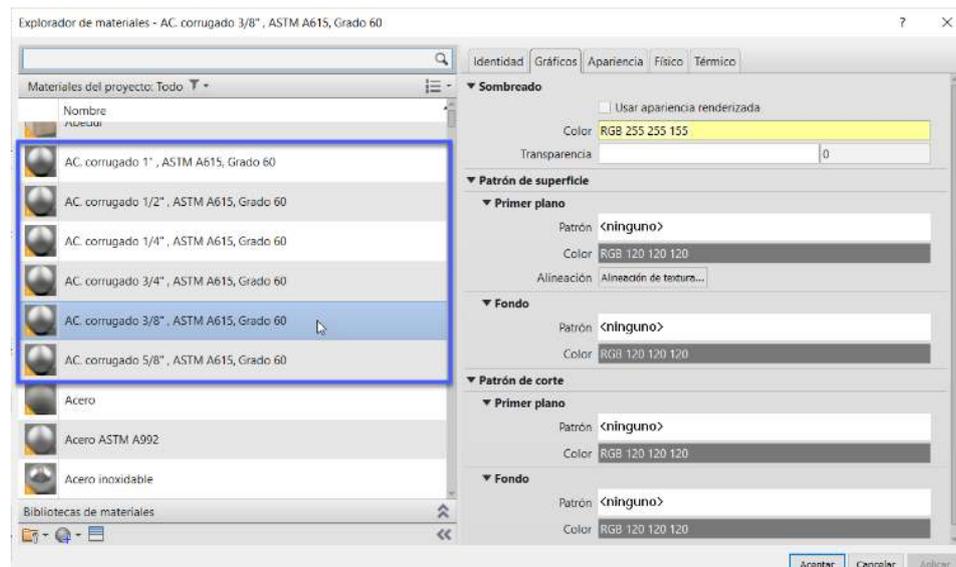


Fuente: *Extraído de Revit 2020.*

Se usa como base el material “Armadura, ASTM A615, Grado 60” y se duplica para crear seis materiales de nombre y color distinto, pero conservando las propiedades físicas del material como se aprecia en la figura 45.

Figura 45

Ventana de explorador de materiales, para seleccionar la varilla a utilizar.



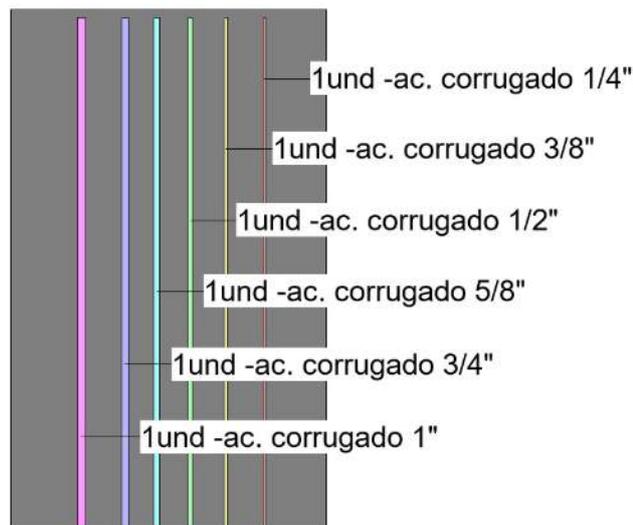
Fuente: *Extraído de Revit 2020.*



El propósito es que, al crear los seis tipos de aceros, correspondientes a los distintos diámetros usados en la edificación, que pertenecen a la familia “Barra de armadura” usen en el parámetro “Material” uno diferente cada uno y de esta forma mejorar la capacidad de reconocerlos mediante la diferenciación de colores en las distintas vistas ofrecidas por el software.

Figura 46

Colores de los materiales creados para acero corrugado de acuerdo al diámetro.



Fuente: *Extraído y Modelado en Revit 2020.*

Según la figura 46 se distingue los colores asignados a cada diámetro de acero corrugado para poder ser identificado con facilidad en el modelo:

- AC. corrugado 1/4”, ASTM A615, Grado 60: Color anaranjado, RGB: 255 155 155
- AC. corrugado 3/8”, ASTM A615, Grado 60: Color amarillo, RGB: 255 255 155
- AC. corrugado 1/2”, ASTM A615, Grado 60: Color verde, RGB: 168 255 168
- AC. corrugado 5/8”, ASTM A615, Grado 60: Color celeste, RGB: 159 255 255
- AC. corrugado 3/4”, ASTM A615, Grado 60: Color morado, RGB: 181 181 255
- AC. corrugado 1”, ASTM A615, Grado 60: Color rosado, RGB: 255 153 255



4.1.4.2. Procedimiento de configuración de propiedades de tipo.

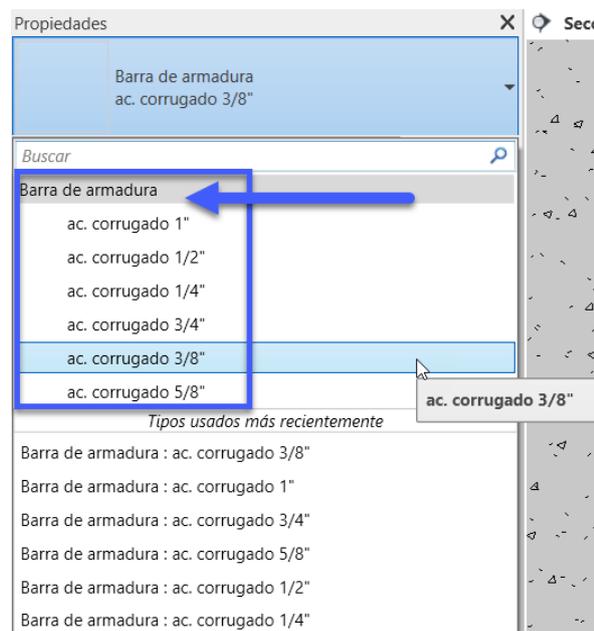
Seguidamente se crean dentro de la familia “Barra de Armadura” los seis nuevos “Tipos” de varillas de acero, los cuales serán nombrados como:

- ac. corrugado 1/4”
- ac. corrugado 3/8”
- ac. corrugado 1/2”
- ac. corrugado 5/8”
- ac. corrugado 3/4”
- ac. corrugado 1”

Así mismo se aprecia en la figura a continuación.

Figura 47

Ventana de barra de armadura por diámetro de varilla de acero corrugado a utilizar para el modelado.



Fuente: *Extraído y Modelado en Revit 2020.*

Cada uno de estos nuevos tipos de aceros creados tienen propiedades de configuración diferentes, respecto a los diámetros de doblado y longitudes de gancho, ya que son de diámetros distintos, por ello es que se procede a configurar las “Propiedades de Tipo” de estos seis nuevos aceros.

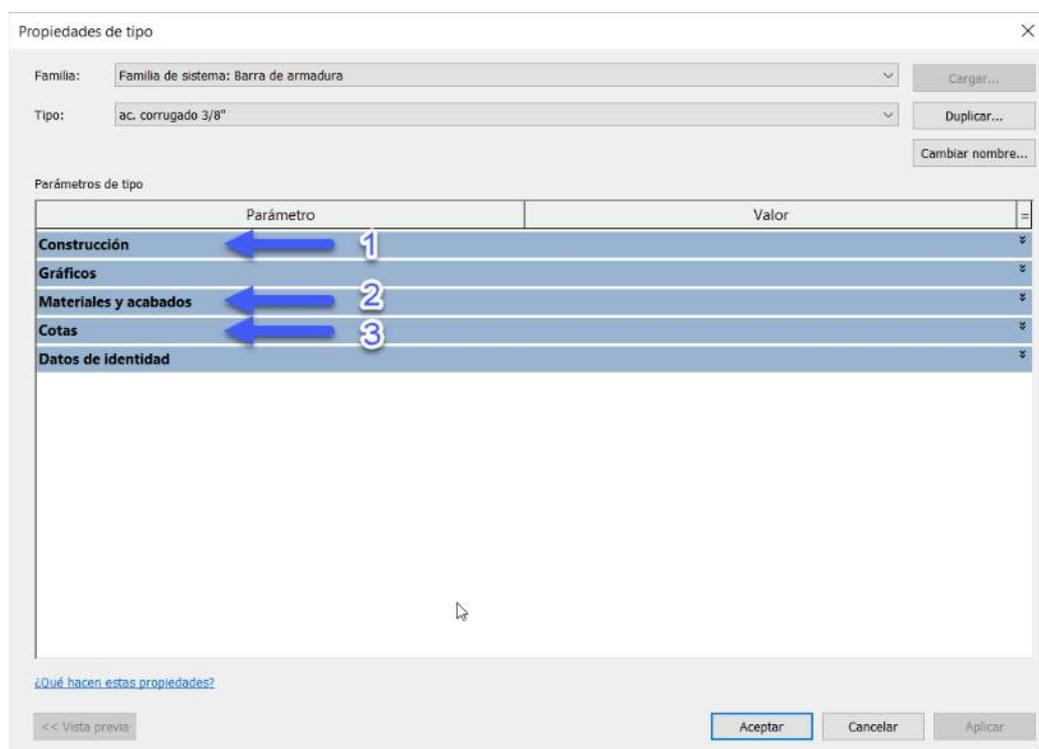


Para consultar y modificar los parámetros que definen las propiedades de tipo de los elementos de armadura, “se selecciona un elemento y se hace clic en la ficha Modificar > grupo Propiedades >  (Propiedades de tipo). Los cambios realizados en las propiedades de tipo afectan a todos los ejemplares del proyecto.”

A continuación, se describen los parámetros de “*Construcción*”, “*Materiales y Acabados*” y “*Cotas*” según la información proporcionada por Autodesk, como se observar en la figura 48.

Figura 48

Ventana de propiedades de los elementos de armadura



Fuente: *Extraído y Modelado en Revit 2020.*

Solo se explicarán y modificarán estos tres parámetros como se muestra en la figura 49, por ser los únicos influyentes en la información que corresponde a la investigación.



Figura 49

Parámetros de Construcciones para Revit según Autodesk.

Construcciones

Deformación	Especifica el parámetro de deformación para el tipo de barra seleccionado (deformada o normal). Este parámetro se tiene en cuenta en el análisis.
Modificaciones de redondeo	Especifica los parámetros de redondeo para el tipo de armadura seleccionado. Esto modifica los parámetros de redondeo definidos en el cuadro de diálogo <u>Propiedades de ejemplar</u> para la armadura. Nota: Este parámetro solo está disponible si se ha especificado un <u>redondeo de refuerzo</u> en el proyecto.

Fuente: Información extraída de la página oficial de Autodesk 2020.

<https://help.autodesk.com/view/RVT/2020/ESP/?guid=GUID-53CB16D8-A0CD-4A53-B920-85B96DF48CF5>

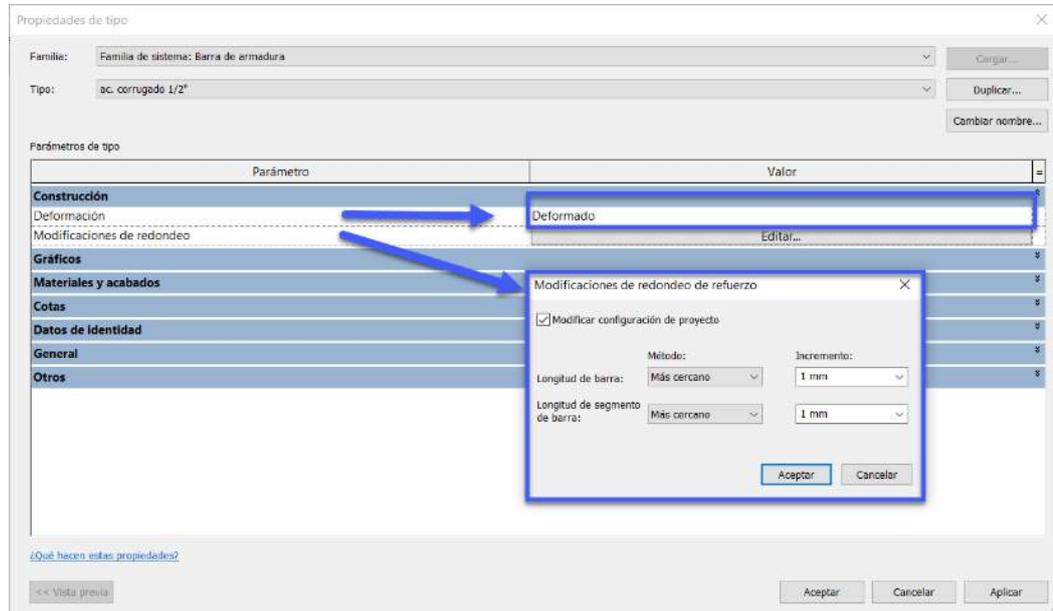
El parámetro de “*Deformación*” se dejará con el valor “*Deformado*” como se presenta por defecto, puesto que este parámetro es usado en caso de modelar el acero para fines de análisis.

El parámetro de “*Modificaciones de redondeo*” se configura con el valor de “*1 mm*” en ambos casos, figura 50. Esta configuración redondea el valor al milímetro más próximo, se toma esta decisión ya que la presente investigación tiene por finalidad una comparación milimétrica del consumo de acero.



Figura 50

Ventana de propiedad de tipo, configuración de parámetro de construcción, deformación.



Fuente: Extraído y Modelado en Revit 2020.

En el parámetro “Material” se utiliza el material creado con anticipación para cada diámetro, de esta forma podremos tener una diferenciación por colores. Se pone por caso la configuración del acero de 3/8” de diámetro.

Figura 51

Parámetros de Materiales y acabados para Revit según Autodesk.

Materiales y acabados	
Material	Especifica los materiales de armadura. Los materiales se seleccionan en el cuadro de diálogo Materiales.

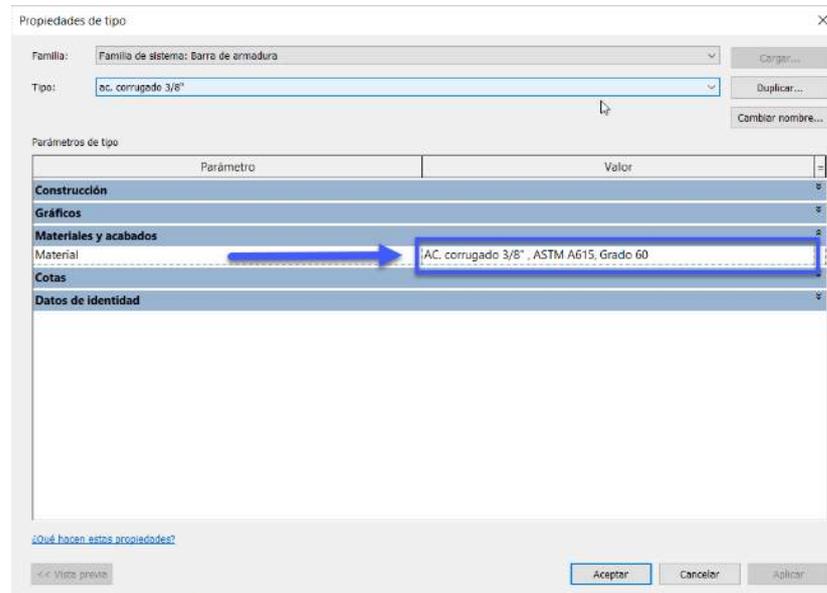
Fuente: Información extraída de la página oficial de Autodesk 2020.

<https://help.autodesk.com/view/RVT/2020/ESP/?guid=GUID-53CB16D8-A0CD-4A53-B920-85B96DF48CF5>



Figura 52

Propiedades de tipo , materiales (AC corrugado 3/8”ASTM A615,Grado 60).



Fuente: *Extraído y Modelado en Revit 2020.*

Así mismo, se configuro en la ventana de propiedades de tipo “Cotas”, de acuerdo a las figuras 53 y 54 según las características que se requerirá para el modelado 3D.

Figura 53

Especificaciones de cotas, diámetro de barra, curvatura estándar y curvatura de gancho estándar para Revit según Autodesk.

Cotas	
Diámetro de barra	Especifica el diámetro del tipo de barra seleccionado. Consulte las imágenes en Parámetros de longitud de gancho de armadura.
Diámetro de curvatura estándar	Especifica el diámetro de curvaturas que no son de tipo gancho para el tipo de barra seleccionado. Consulte las imágenes en Parámetros de longitud de gancho de armadura. Este parámetro no afecta a la forma de armadura.
Diámetro de curvatura de gancho estándar	Especifica el diámetro de curvaturas de gancho para el tipo de barra seleccionado. Consulte las imágenes en Parámetros de longitud de gancho de armadura. Este parámetro no afecta a la forma de armadura.

Fuente: *Información extraída de la página oficial de Autodesk 2020.*



Figura 54

Especificaciones de cotas, diámetro de curvatura de estribo/tirante, longitud de gancho y radio máximo de curvatura para Revit según Autodesk.

Diámetro de curvatura de estribo/tirante	Especifica un diámetro de curvatura que puede ser estándar o de estribo/tirante. Este parámetro define los radios de los tipos de curvatura seleccionados. Consulte las imágenes en Parámetros de longitud de gancho de armadura .
Longitudes de gancho	Especifica ganchos basados en un tipo de barra concreto. Haga clic en Editar para abrir el cuadro de diálogo Longitudes de gancho de armadura. Consulte las imágenes en Parámetros de longitud de gancho de armadura .
Radio máximo de curvatura	Especifica el radio máximo de curvatura para tablas de planificación de armaduras. Su finalidad es compensar la curvatura de armadura real causada por grandes diámetros de curvatura.

Fuente: Información extraída de la página oficial de Autodesk 2020.
<https://help.autodesk.com/view/RVT/2020/ESP/?guid=GUID-53CB16D8-A0CD-4A53-B920-85B96DF48CF5>

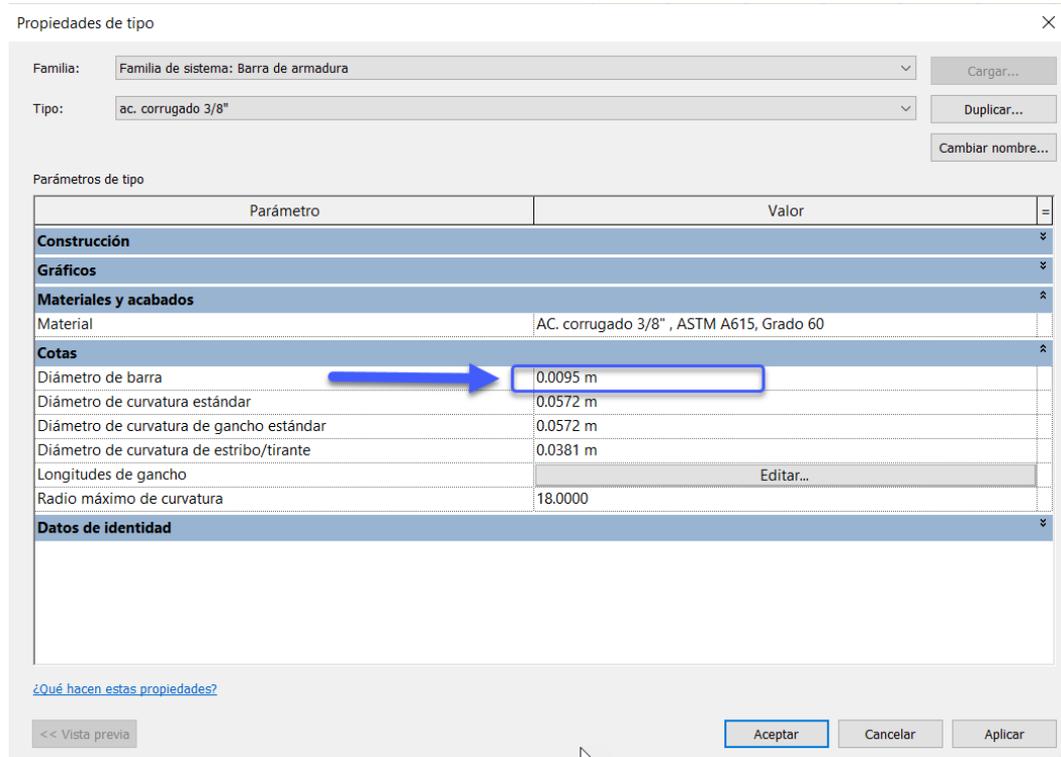
A continuación, se configuran los parámetros de “Cotas” de estos aceros basándose en la norma E.060 subtítulos 7.1 (Ganchos Estándar), 7.2 (Diámetros Mínimos de Doblado), 21.1 (Gancho sísmico), se pone por caso la configuración del acero de diámetro 3/8”:

Primero se corrige el diámetro de la barra, poniendo el valor correspondiente en la casilla asignada para “Diámetro de Barra”, para el caso de 3/8” el diámetro en metros es de 0.0095 m como se aprecia en la figura 55.



Figura 55

Ejemplo de modificación de diámetro de varilla en Revit.



Fuente: *Extraído y Modelado en Revit 2020.*

Seguidamente, se modifica el “Diámetro de curvatura estándar”, “Diámetro de curvatura de gancho estándar” y “Diámetro de curvatura de estribo/tirante” para lo cual se realiza el cálculo según las especificaciones de la N.T.E E.060, que figuran en el inciso 7.2 “Diámetros Mínimos de Doblado”. *El radio máximo de curvatura no será modificado en Revit 2020.*

Para el ejemplo de varilla de 3/8” se dan los siguientes resultados (se adjunta en anexos, apéndice F, el cálculo realizado para los demás diámetros):



Figura 56

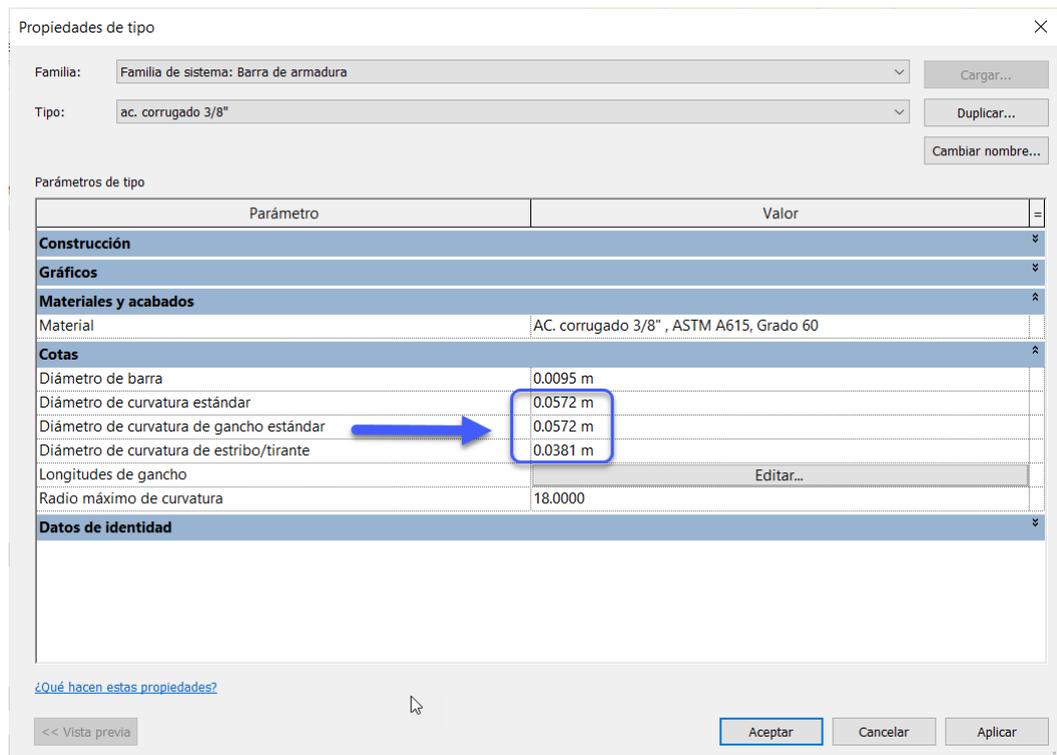
Ejemplo de cálculo de diámetros de curvatura según normativa.

<u>DIÁMETRO DE BARRA</u>	(db)
3/8	0.009525 (m)
<i>Diámetro de Curvatura Estándar</i>	0.057150 (m) 6*db
<i>Diámetro de Curvatura de Gancho Estándar</i>	0.057150 (m) 6*db
<i>Diámetro interior de doblado para Estribos</i>	0.038100 (m) 4*db

Nota: Cálculos realizados para diámetro 3/8". **Fuente:** Elaboración en Microsoft Excel.

Figura 57

Ejemplo de modificación de diámetros de curvatura según normativa en Revit.



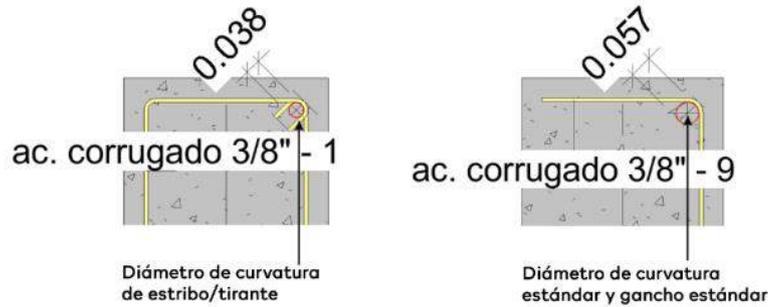
Fuente: Extraído y Modelado en Revit 2020.

De esa manera teniendo la configuración correspondiente se puede visualizar y comprobar los diámetros mínimos correctos de los estribos como se aprecia en la figura a continuación:



Figura 58

Comprobación de configuración de diámetros mínimos de curvatura según normativa.

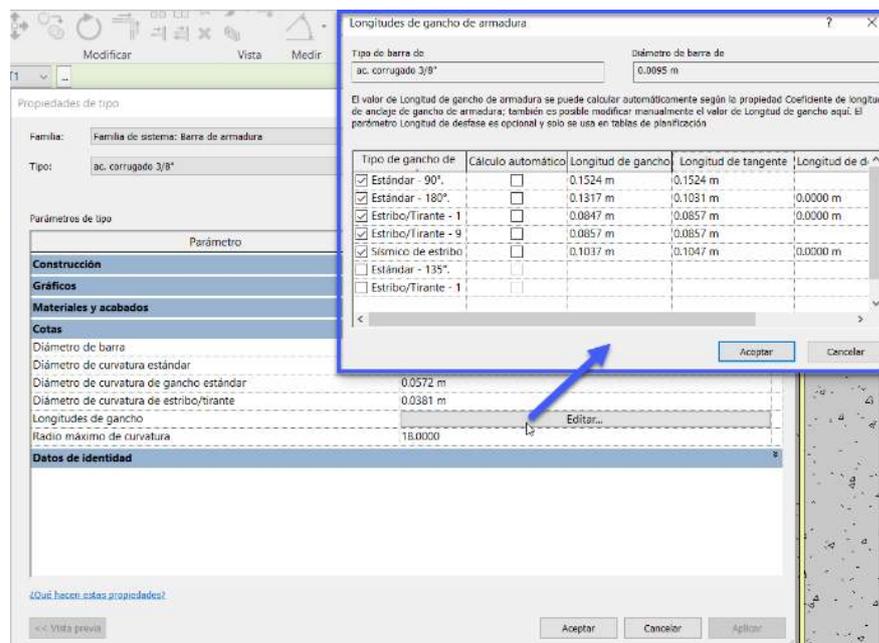


Fuente: *Extraído y Modelado en Revit 2020.*

Como tercer punto se configura las longitudes de gancho, según Autodesk los parámetros de longitud de gancho de un tipo de armadura se definen en el cuadro de diálogo “Longitudes de gancho de armadura”. Este cuadro se abre haciendo clic en el botón “Editar”, como se aprecia en la figura 59.

Figura 59

Ejemplo de modificación de longitudes de gancho en Revit.



Fuente: *Extraído y Modelado en Revit 2020.*



Autodesk define estas propiedades con los siguientes conceptos como se observa en la figura 60.

Figura 60

Especificaciones de tipo de gancho de armadura, longitud de gancho, longitud de tangente y longitud de desfase para Revit según Autodesk.

Tipo de gancho de armadura	Se trata de una lista automática de ganchos de armadura válidos para este tipo de armadura. Si la casilla de selección está seleccionada, el tipo de gancho es visible en los parámetros Gancho al inicio o Gancho al final de la armadura.
Cálculo automático	Anule la selección de esta casilla para modificar el cálculo automático de longitud de gancho y longitud de desfase.
Longitud de gancho	Muestra la longitud del tipo de gancho.
Longitud de tangente	Muestra la longitud de tangente del tipo de gancho.
Longitud de desfase	Muestra la longitud de desfase del tipo de gancho. Este parámetro opcional se utiliza principalmente para planificación.

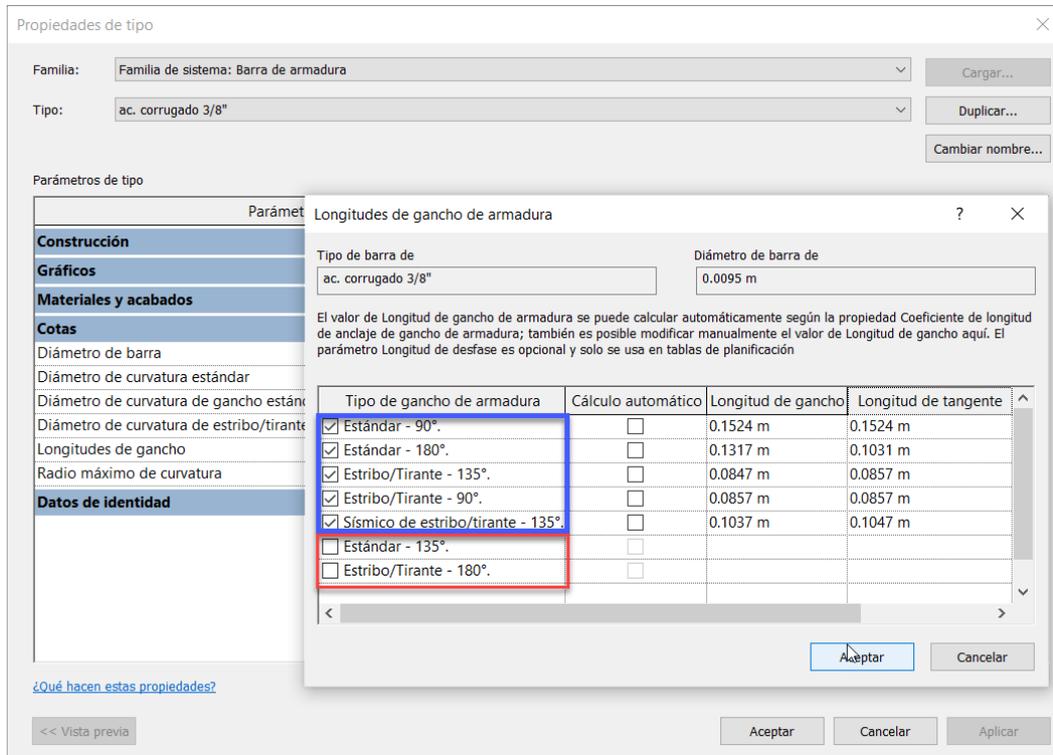
Fuente: Información extraída de la página oficial de Autodesk 2020.

<https://help.autodesk.com/view/RVT/2020/ESP/?guid=GUID-53CB16D8-A0CD-4A53-B920-85B96DF48CF5>

Para la configuración en el software primero desactivamos las opciones de “Estándar -135°” y “Estribo/Tirante – 180°” haciendo clic en la opción “si/no”, puesto que la norma no contiene información sobre ganchos con ángulos de 135° ni de estribos con ganchos de 180°, como se puede observar en la figura 61.

Figura 61

Ejemplo de modificación de tipos de gancho de armadura en Revit.



Fuente: *Extraído y Modelado en Revit 2020.*

Tenemos en consecuencia cinco opciones definidas en la norma; los cálculos para los ganchos correspondientes a la varilla de acero de 3/8” de diámetro según la N.T.E E.060 capítulo 7, son los siguientes:

Figura 62

Ejemplo de cálculo de longitudes de gancho según normativa.

<u>Diámetro de Acero</u>	<u>3/8"</u>		
	pulg =	0.0254 m	
	db=	0.0095 m	
			según Norma E.060
<i>Gancho Estandar de 90°</i>	12db=	0.1143 m	
<i>Gancho Estandar de 180°</i>	4db=	0.0381 m	≥ 0.065 m <i>no cumple</i>
<i>Gancho de Estribo / Tirante 135°</i>	6db=	0.0572 m	
<i>Gancho de Estribo / Tirante 90°</i>	6db=	0.0572 m	
<i>Gancho Sísmico de Estribo / Tirante 135°</i>	8db=	0.0762 m	≥ 0.075 m <i>cumple</i>

Nota: *Cálculos realizados para diámetro 3/8”.*



Antes de digitar estas longitudes de gancho obtenidas según norma se debe entender cómo es que el software de modelado Revit 2020 interpreta la información.

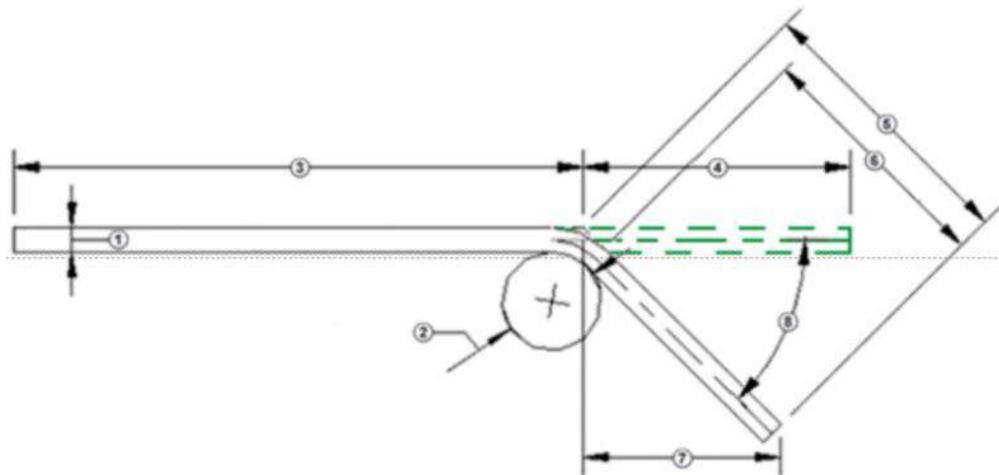
A continuación, se describe con figuras y una leyenda como son considerados estos parámetros para una armadura en el software:

1. Diámetro de barra
2. Diámetro de curvatura
3. Longitud de segmento
4. Longitud de gancho
5. Longitud de gancho tangente final
6. Longitud de extensión
7. Longitud de desfase
8. Ángulo

La interpretación grafica se observa en las siguientes figuras 63,64,65 y 66.

Figura 63

Gancho de 45° según Revit.



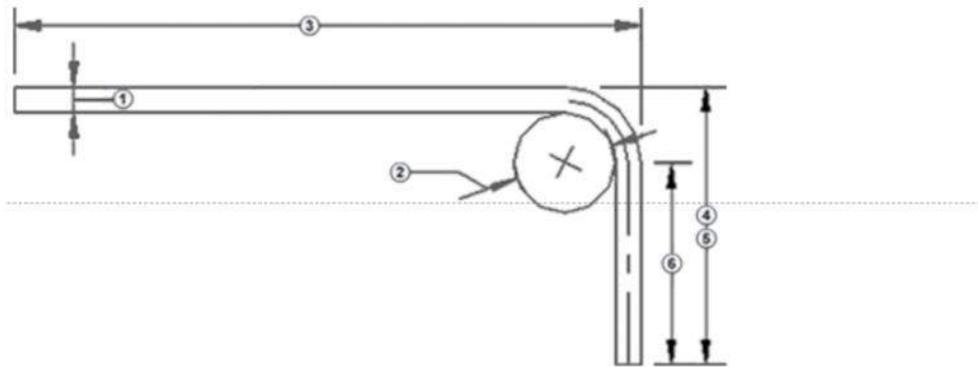
Fuente: Información extraída de la página oficial de Autodesk 2020.

<https://help.autodesk.com/view/RVT/2020/ESP/?guid=GUID-5E2D4E9E-45D9-43E7-8E57-7BEFF4C9D9DA>



Figura 64

Gancho de 90° según Revit.



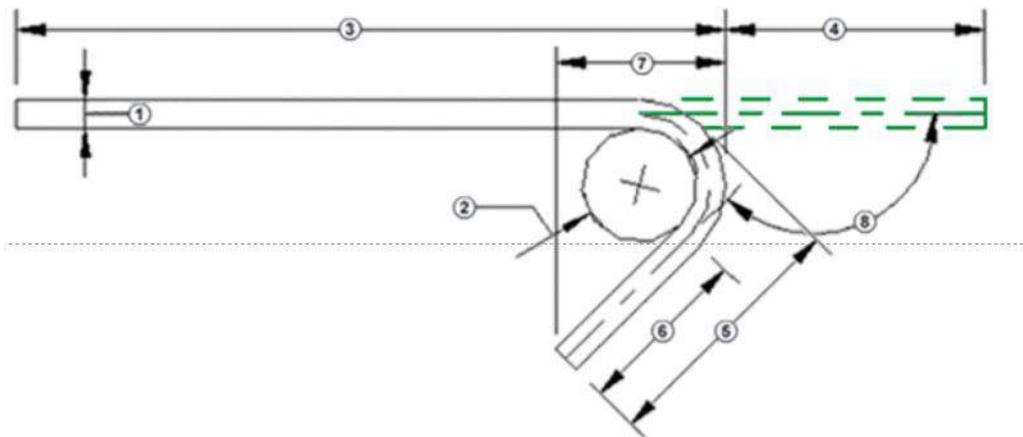
Nota: En ganchos de 90° ganchos, los valores de Longitud de gancho y Longitud de gancho tangente final son distancias iguales.

Fuente: Información extraída de la página oficial de Autodesk 2020.

<https://help.autodesk.com/view/RVT/2020/ESP/?guid=GUID-5E2D4E9E-45D9-43E7-8E57-7BEFF4C9D9DA>

Figura 65

Gancho de 135° según Revit.



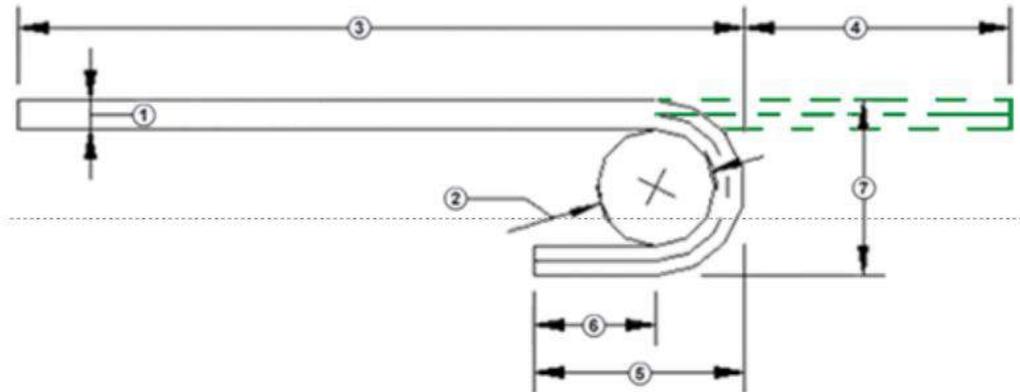
Fuente: Información extraída de la página oficial de Autodesk 2020.

<https://help.autodesk.com/view/RVT/2020/ESP/?guid=GUID-5E2D4E9E-45D9-43E7-8E57-7BEFF4C9D9DA>



Figura 66

Gancho de 180° según Revit.



Fuente: Información extraída de la página oficial de Autodesk 2020.

<https://help.autodesk.com/view/RVT/2020/ESP/?guid=GUID-5E2D4E9E-45D9-43E7-8E57-7BEFF4C9D9DA>

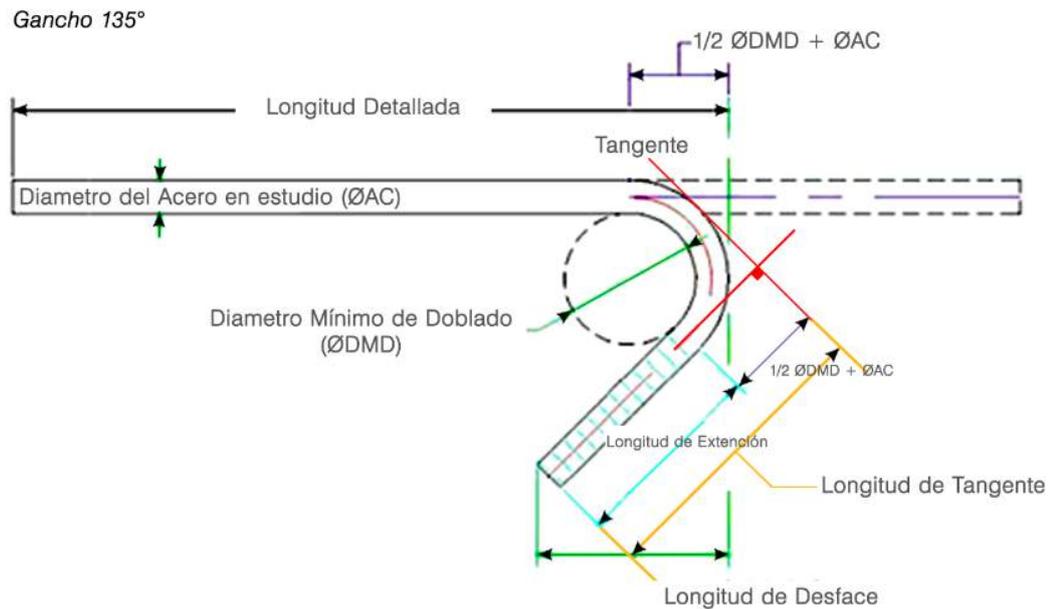
El item número seis “*Longitud de Extencion*” es la longitud que es consideraba como longitud de gancho según la N.T.E E.060 y es calculada anteriormente, sin embargo dentro de las opciones de parámetros del software no existe la opción para introducir esta información.

Por esta limitante se calcula el item número cinco “*Longitud de Gancho de Tangente*”, el cual es explicado a continuación en la figura 67 y se describe con la siguiente formula (figura 68):



Figura 67

Análisis de longitud de gancho tangente.



Nota: Análisis grafico de formula planteada.

Fórmula 2

Longitud de tangente – Revit 2020.

$$Longitud\ de\ Tangente(Revit\ 2020) = LngE.060 + \frac{1}{2} \varnothing DMD + \varnothing AC$$

Donde:

- **LngE.060** = Longitud de gancho según la N.T.E E.060 cap. 7 correspondiente al diámetro, ángulo y función.
- **$\varnothing DMD$** = Diámetro mínimo de doblado según la N.T.E E.060 cap. 7 correspondiente al diámetro y función.
- **$\varnothing AC$** = Diámetro del acero en estudio.

El cálculo para el diámetro se muestra en la figura 68, teniendo como ejemplo el diámetro de 3/8”.



Figura 68

Ejemplo de cálculo de longitud de tangente de gancho estándar ,estribo/tirante.

Calculo de **Longitud de tangente** para Gancho Estándar

Diám. Mín. Doblado Gancho Estándar =		0.0572
Ø Acero=		0.0095
1/2 Diám. Mín. + Ø Acero=		0.0381 m
Gancho Estandar de 90°	12db=	0.1524 m
Gancho Estandar de 180°	4db=	0.1031 m

Calculo de **Longitud de tangente** para Gancho de Estribo/Tirante

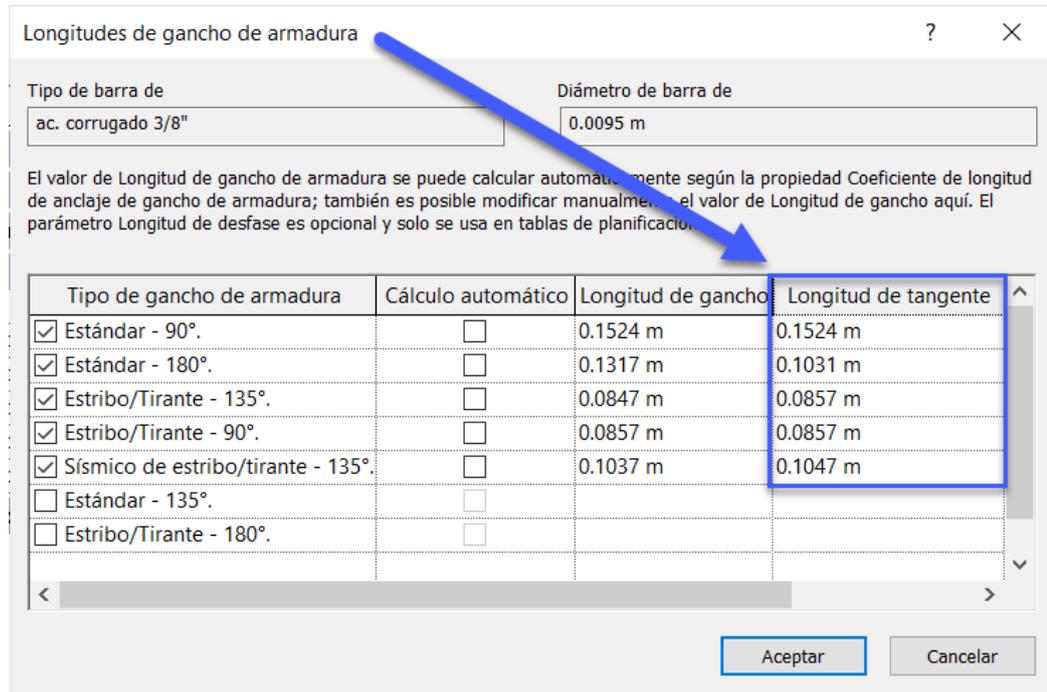
Diám. Mín. Doblado Estribo / Tirante =		0.0381
Ø Acero=		0.0095
1/2 Diám. Mín. + Ø Acero=		0.0286 m
Gancho de Estribo / Tirante 135°	6db=	0.0857 m
Gancho de Estribo / Tirante 90°	6db=	0.0857 m
Gancho Sísmico de Estribo / Tirante 135°	8db=	0.1047 m

Nota: Cálculos realizados para diámetro 3/8". **Fuente:** Elaboración en Microsoft Excel.

Por consiguiente, estos valores son lo que se introducen en el parámetro de “Longitudes de Gancho de Armadura” como se observa en la figura 69.

Figura 69

Longitud de gancho de armadura ,configuración de longitud de tangente en Revit.

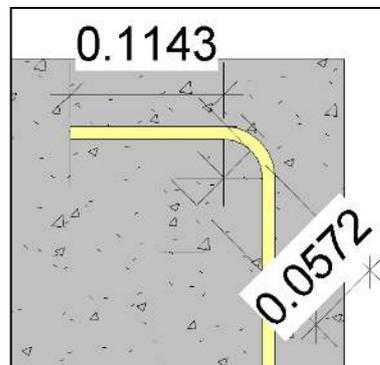


Fuente: *Extraído y Modelado en Revit 2020.*

Se “acepta” los cambios y la nueva configuración, se usa para modelar correctamente en base a la norma técnica de edificaciones, las siguientes figuras 70,71,72,73 y 74 comprueban que las longitudes de ganchos cumplen efectivamente con las longitudes de ganchos y los diámetros mínimos de doblado:

Figura 70

Comprobación de gancho estándar 90° para diámetro 3/8”

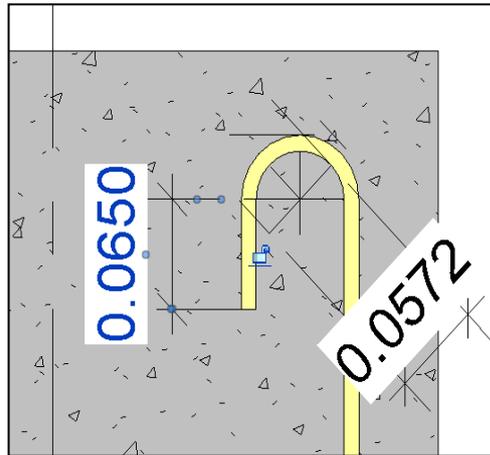


Fuente: *Extraído y Modelado en Revit 2020.*



Figura 71

Comprobación de gancho estándar 180° para diámetro 3/8"

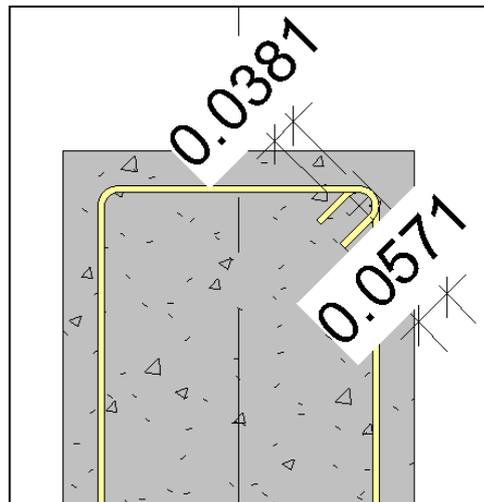


Nota: La longitud de gancho es calculada según norma, por ser menor a 65mm se usa este valor, y el diámetro de doblado es el mínimo para gancho estándar.

Fuente: Extraído y Modelado en Revit 2020.

Figura 72

Comprobación de gancho estribo/ tirante 135° para diámetro 3/8"

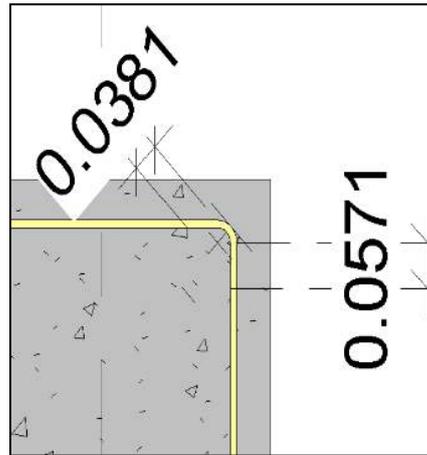


Nota: La longitud de gancho es calculada según norma, y el diámetro de doblado es el mínimo para gancho de estribo/tirante. **Fuente:** Extraído y Modelado en Revit 2020.



Figura 73

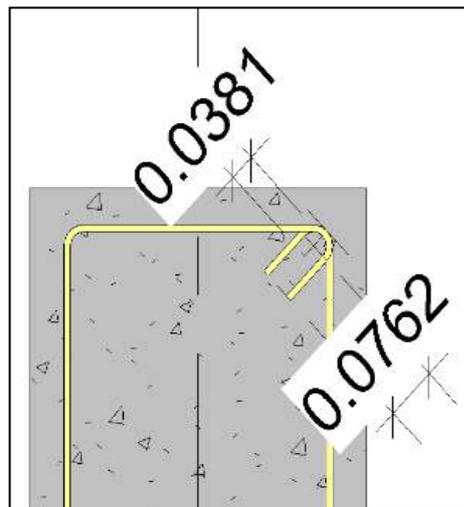
Comprobación de gancho estribo/ tirante 90° para diámetro 3/8”.



Fuente: *Extraído y Modelado en Revit 2020.*

Figura 74

Comprobación de gancho sísmico estribo/ tirante 135° para diámetro 3/8”.



Nota: *La longitud de gancho es calculada según norma para un estribo de diseño sísmico y el diámetro de doblado es el mínimo para gancho de estribo/tirante.*

Fuente: *Extraído y Modelado en Revit 2020.*

Este cálculo es el mismo para todos los demás diámetros a ser usados, es importante mencionar que en el caso de la configuración del acero de 1/4”, (6.35mm) de diámetro, se desactiva la opción de gancho sísmico, como se aprecia en la figura 75, ya que la norma indica que para ser un estribo de diseño sísmico debe ser de un diámetro mayor a 8mm.



Figura 75

Ventana de longitudes de gancho de armadura, configuración de tipo de barra y el tipo de gancho de armadura a utilizar.

Longitudes de gancho de armadura

Tipo de barra de: ac. corrugado 1/4"

Diámetro de barra de: 0.0064 m

El valor de Longitud de gancho de armadura se puede calcular automáticamente según la propiedad Coeficiente de longitud de anclaje de gancho de armadura; también es posible modificar manualmente el valor de Longitud de gancho aquí. El parámetro Longitud de desfase es opcional y solo se usa en tablas de planificación

Tipo de gancho de armadura	Cálculo automático	Longitud de gancho	Longitud de tangente
<input checked="" type="checkbox"/> Estándar - 90°.	<input type="checkbox"/>	0.1016 m	0.1016 m
<input checked="" type="checkbox"/> Estándar - 180°.	<input type="checkbox"/>	0.1095 m	0.0905 m
<input checked="" type="checkbox"/> Estribo/Tirante - 135°.	<input type="checkbox"/>	0.0565 m	0.0572 m
<input checked="" type="checkbox"/> Estribo/Tirante - 90°.	<input type="checkbox"/>	0.0572 m	0.0572 m
<input type="checkbox"/> Sísmico de estribo/tirante - 135°.	<input type="checkbox"/>		
<input type="checkbox"/> Estándar - 135°.	<input type="checkbox"/>		
<input type="checkbox"/> Estribo/Tirante - 180°.	<input type="checkbox"/>		

Aceptar Cancelar

Fuente: *Extraído y Modelado en Revit 2020.*

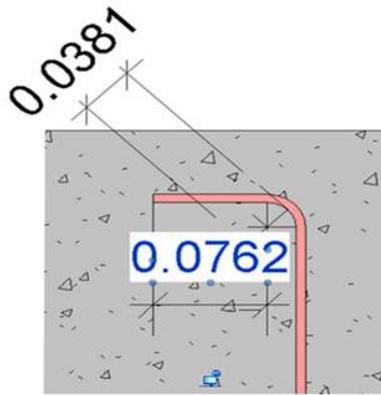
Finalmente se presenta la comprobación de configuración de todos los diámetros de acero de construcción que se utilizaran en la presente investigación, las configuraciones completas son anexadas en el apéndice F.



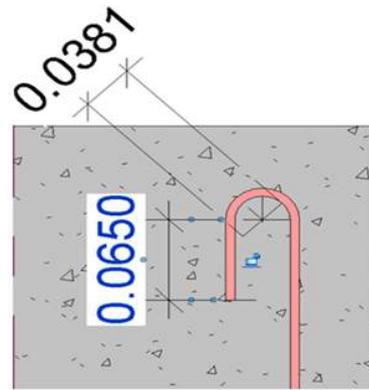
Figura 76

Longitud de gancho de armadura de acero corrugado de 1/4"

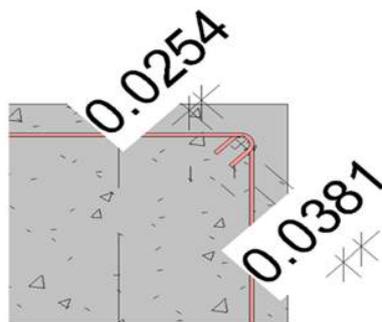
<u>Diámetro de Acero</u>		<u>1/4"</u>		
		pulg =	0.0254 m	
		db =	0.0064 m	
				según Norma E.060
<i>Gancho Estandar de 90°</i>	12db =		0.0762 m	
<i>Gancho Estandar de 180°</i>	4db =		0.0254 m	≥ 0.065 m <i>no cumple</i>
<i>Gancho de Estribo / Tirante 135°</i>	6db =		0.0381 m	
<i>Gancho de Estribo / Tirante 90°</i>	6db =		0.0381 m	



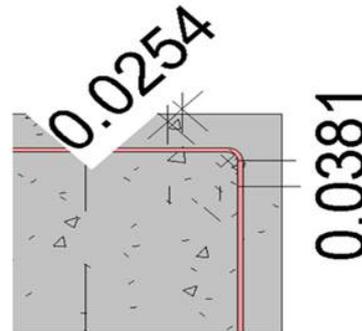
Gancho Estándar de 90°



Gancho Estándar de 180°



Gancho de Estribo/Tirante 135°



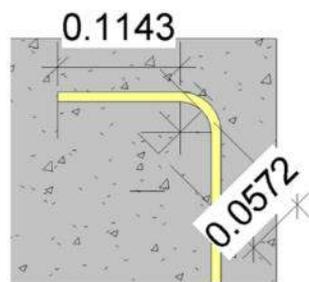
Gancho de Estribo/Tirante 90°

Nota: Este diámetro de refuerzo no es apto para tener función de estribos sísmico según la norma E.060. **Fuente:** Elaboración propia, Modelado en Revit 2020

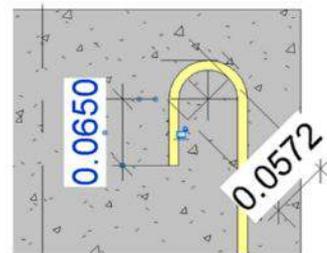
Figura 77

Longitud de gancho de armadura de acero corrugado de 3/8"

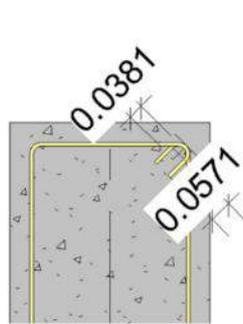
<u>Diámetro de Acero</u>	<u>3/8"</u>		
	pulg =	0.0254 m	
	db=	0.0095 m	
			según Norma E.060
<i>Gancho Estandar de 90°</i>	12db=	0.1143 m	
<i>Gancho Estandar de 180°</i>	4db=	0.0381 m	≥ 0.065 m <i>no cumple</i>
<i>Gancho de Estribo / Tirante 135°</i>	6db=	0.0572 m	
<i>Gancho de Estribo / Tirante 90°</i>	6db=	0.0572 m	
<i>Gancho Sísmico de Estribo / Tirante 135°</i>	8db=	0.0762 m	≥ 0.075 m <i>cumple</i>



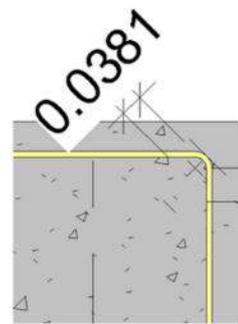
Gancho Estándar de 90°



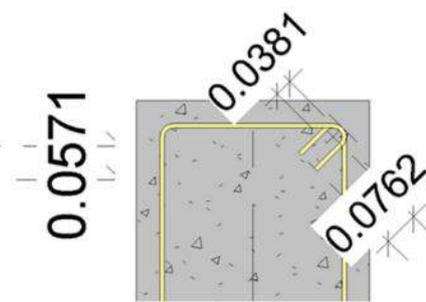
Gancho Estándar de 180°



Gancho de Estribo/Tirante 135°



Gancho de Estribo/Tirante 90°



Gancho Sísmico de Estribo/Tirante 135°

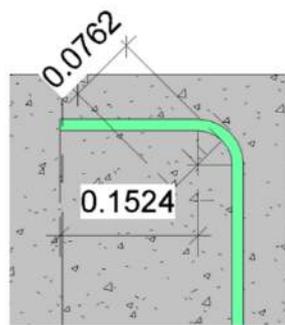
Fuente: *Extraído y Modelado en Revit 2020, la información completa de configuración es anexada en el apéndice F.*



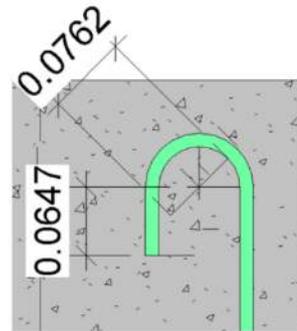
Figura 78

Longitud de gancho de armadura de acero corrugado de 1/2"

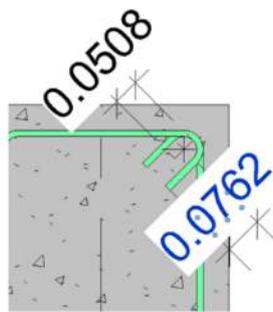
<u>Diámetro de Acero</u>	<u>1/2"</u>		
	pulg =	0.0254 m	
	db=	0.0127 m	
			según Norma E.060
<i>Gancho Estandar de 90°</i>	12db=	0.1524 m	
<i>Gancho Estandar de 180°</i>	4db=	0.0508 m	≥ 0.065 m <i>no cumple</i>
<i>Gancho de Estribo / Tirante 135°</i>	6db=	0.0762 m	
<i>Gancho de Estribo / Tirante 90°</i>	6db=	0.0762 m	
<i>Gancho Sísmico de Estribo / Tirante 135°</i>	8db=	0.1016 m	≥ 0.075 m <i>cumple</i>



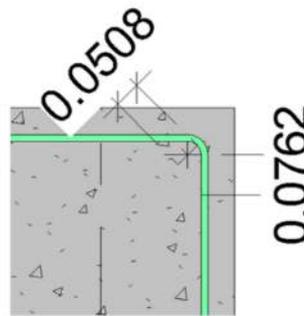
Gancho Estándar de 90°



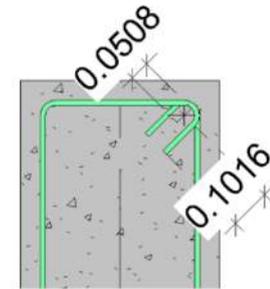
Gancho Estándar de 180°



Gancho de Estribo/Tirante 135°



Gancho de Estribo/Tirante 90°



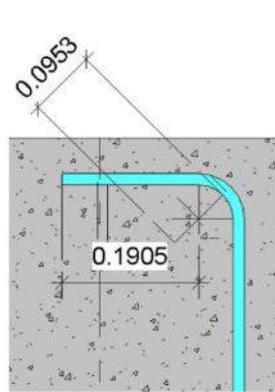
Gancho Sísmico de Estribo/Tirante 135°

Fuente: *Extraído y Modelado en Revit 2020, la información completa de configuración es anexada en el apéndice F.*

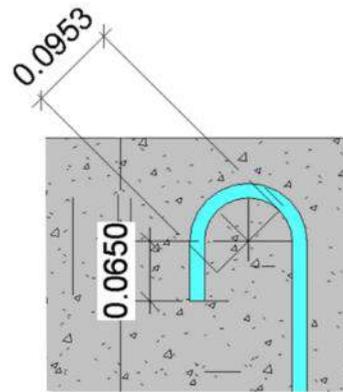
Figura 79

Longitud de gancho de armadura de acero corrugado de 5/8''.

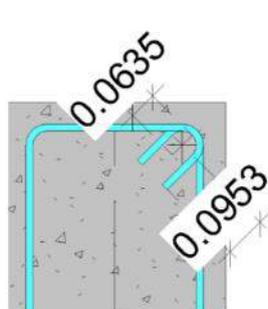
<u>Díámetro de Acero</u>	<u>5/8"</u>		
	pulg =	0.0254 m	
	db=	0.0159 m	
			según Norma E.060
Gancho Estandar de 90°	12db=	0.1905 m	
Gancho Estandar de 180°	4db=	0.0635 m	≥ 0.065 m no cumple
Gancho de Estribo / Tirante 135°	6db=	0.0953 m	
Gancho de Estribo / Tirante 90°	6db=	0.0953 m	
Gancho Sísmico de Estribo / Tirante 135°	8db=	0.1270 m	≥ 0.075 m cumple



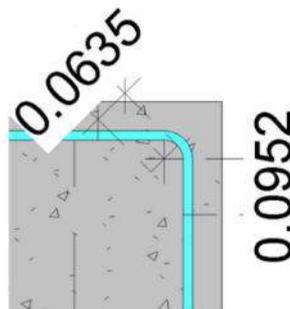
Gancho Estándar de 90°



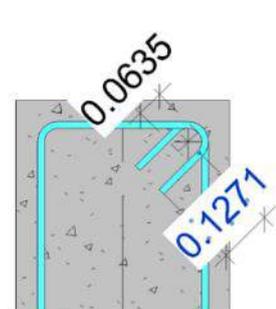
Gancho Estándar de 180°



Gancho de Estribo/Tirante 135°



Gancho de Estribo/Tirante 90°



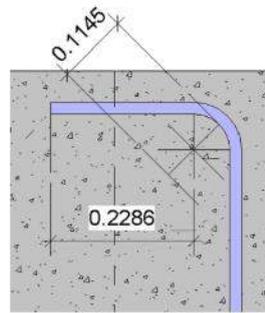
Gancho Sísmico de Estribo/Tirante 135°

Fuente: *Extraído y Modelado en Revit 2020, la información completa de configuración es anexada en el apéndice F.*

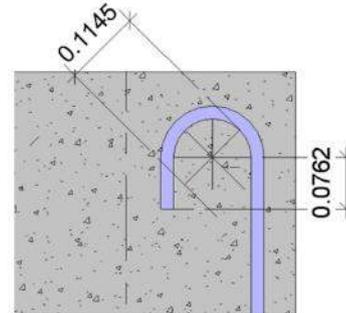
Figura 80

Longitud de gancho de armadura de acero corrugado de 3/4”.

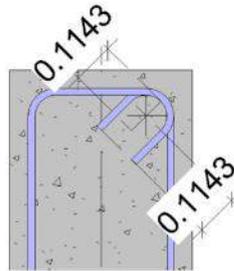
Diámetro de Acero		3/4"		
		pulg =	0.0254 m	
		db=	0.0191 m	
				según Norma E.060
Gancho Estandar de 90°	12db=		0.2286 m	
Gancho Estandar de 180°	4db=		0.0762 m	≥ 0.065 m cumple
Gancho de Estribo / Tirante 135°	6db=		0.1143 m	
Gancho de Estribo / Tirante 90°	12db=		0.2286 m	
Gancho Sísmico de Estribo / Tirante 135°	8db=		0.1524 m	≥ 0.075 m cumple



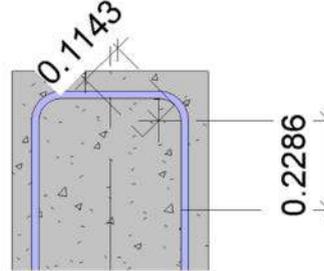
Gancho Estándar de 90°



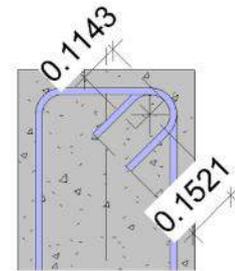
Gancho Estándar de 180°



Gancho de Estribo/Tirante 135°



Gancho de Estribo/Tirante 90°



Gancho Sísmico de Estribo/Tirante 135°

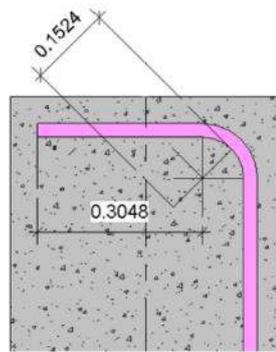
Fuente: *Extraído y Modelado en Revit 2020, la información completa de configuración es anexada en el apéndice F.*



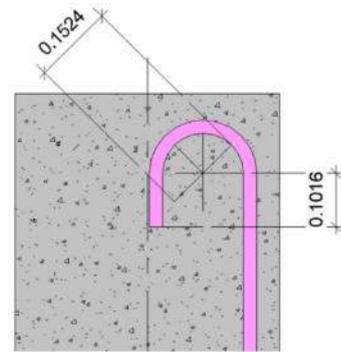
Figura 81

Longitud de gancho de armadura de acero corrugado de 1".

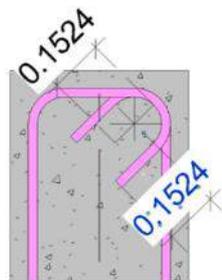
<u>Diámetro de Acero</u>		<u>1"</u>		
		pulg =	0.0254 m	
		db =	0.0254 m	
				según Norma E.060
<i>Gancho Estándar de 90°</i>	12db =	0.3048 m		
<i>Gancho Estándar de 180°</i>	4db =	0.1016 m	≥	0.065 m cumple
<i>Gancho de Estribo / Tirante 135°</i>	6db =	0.1524 m		
<i>Gancho de Estribo / Tirante 90°</i>	12db =	0.3048 m		
<i>Gancho Sísmico de Estribo / Tirante 135°</i>	8db =	0.2032 m	≥	0.075 m cumple



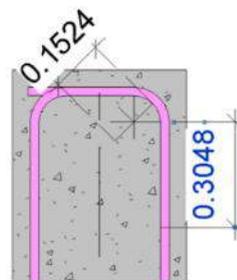
Gancho Estándar de 90°



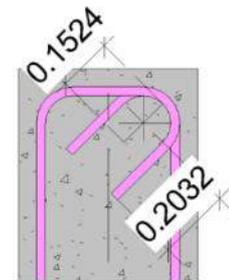
Gancho Estándar de 180°



Gancho de Estribo/Tirante 135°



Gancho de Estribo/Tirante 90°



Gancho Sísmico de Estribo/Tirante 135°

Fuente: *Extraído y Modelado en Revit 2020, la información completa de configuración es anexada en el apéndice F.*

4.1.4.3. Procedimiento de creación y configuración de formas de armadura.

Para obtener una correcta exportación y reconocimiento de las formas de armadura utilizadas en los modelos de los proyectos, se creó las familias de aceros con formas comúnmente utilizadas para estos tipos de proyectos.

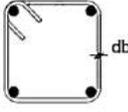
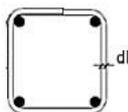
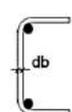
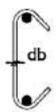
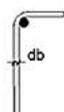
Se procedió a categorizarlas y codificarlas para reconocerlas en la hoja de cálculo donde se atribuye las variaciones por incremento y decremento por doblez.

Los estribos son codificados de la siguiente manera:

- **ET_01:** Estribo con doblez a 135°
- **ET_02:** Estribo con doblez a 90°
- **ET_03:** Grapa suplementaria con doblez a 90°
- **ET_04:** Grapa suplementaria con doblez a 135°
- **ET_05:** Grapa suplementaria con doblez a 90° (mitad)

Figura 82

Codificación de formas de armadura para estribos en Revit 2020.

 estribo con doblez a 135°	 estribo con doblez a 90°	 grapa suplementaria con doblez a 90°
ET_01	ET_02	ET_03
 grapa suplementaria con doblez a 135°	 grapa suplementaria con doblez a 90°	
ET_04	ET_05	

Fuente: Información adaptada, basado en la norma E.060 capítulo 7.

Se considera la mitad de una grapa suplementaria en el caso de que exista una grapa que se deba colocar en dos partes, se realiza de esta forma; pues la única manera de que Revit considere la forma como estribo es si identificando el tipo de doblez. En este caso las configuraciones de dobles son para estribos de esta manera Revit 2020 identifica estas formas como tales. La configuración completa es anexada en el índice F; como aporte de la presente investigación.



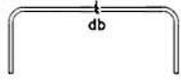
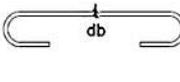
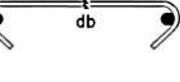
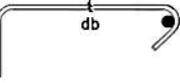
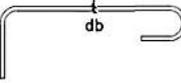
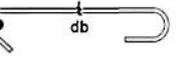
Los elementos longitudinales son codificados de la siguiente manera:

- **LG_01:** Gancho estándar con doblez de 90°
- **LG_02:** Gancho estándar con doble doblez de 90°
- **LG_03:** Gancho estándar con doblez de 180°
- **LG_04:** Gancho estándar con doble doblez de 180°
- **LG_05:** Gancho estándar con doblez de 135°
- **LG_06:** Gancho estándar con doble doblez de 135°
- **LG_07:** Gancho estándar con doblez de 90° y 135°
- **LG_08:** Gancho estándar con doblez de 90° y 180°
- **LG_09:** Gancho estándar con doblez de 135° y 180°

Las formas de armadura son graficadas en la figura 83 a continuación:

Figura 83

Codificación de formas de armadura para aceros longitudinales en Revit 2020.

 gancho estándar con doblez de 90°	 gancho estándar con doble doblez de 90°	 gancho estándar con doblez de 180°
LG_01	LG_02	LG_03
 gancho estándar con doble doblez de 180°	 gancho estándar con doblez a 135°	 gancho estándar con doble doblez a 135°
LG_04	LG_05	LG_06
 gancho estándar con doblez a 90° y 135°	 gancho estándar con doblez a 90° y 180°	 gancho estándar con doblez a 135° y 180°
LG_07	LG_08	LG_09

Fuente: Información adaptada, basado en la norma E.060 capítulo 7.

Se consideran extremos con dobles de 135°, tomando el criterio de usar 6*db; el mismo que se usa para estribos, puesto que en la norma no se hace referencia de estos dobleces para longitudinales, pero en el ámbito constructivo si se utiliza.

En este caso las configuraciones de dobles son para ganchos estándar o elementos longitudinales de esta manera Revit 2020 identifica estas formas como tales. La configuración completa es anexada en el índice F; como aporte de la presente investigación.

Es importante que cada forma tenga definidos los dobleces y solo pueda ejecutar los indicados, de esta manera se tendrá formas que no varían ni su cantidad ni su grado de doblez.



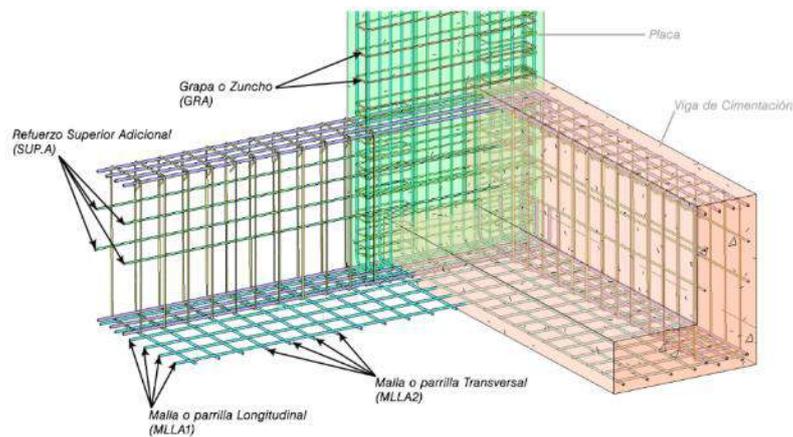
4.1.4.4. Procedimiento de Modelado de Proyectos.

Con los materiales y parámetros creados correctamente se inicia con el modelado de las estructuras para la obtención de las piezas de acero correspondientes a cada proyecto en estudio.

Se procede primero a modelar la cimentación, específicamente los aceros longitudinales:

Figura 84

Identificación de elementos estructurales y piezas de acero en modelo de estructuras.



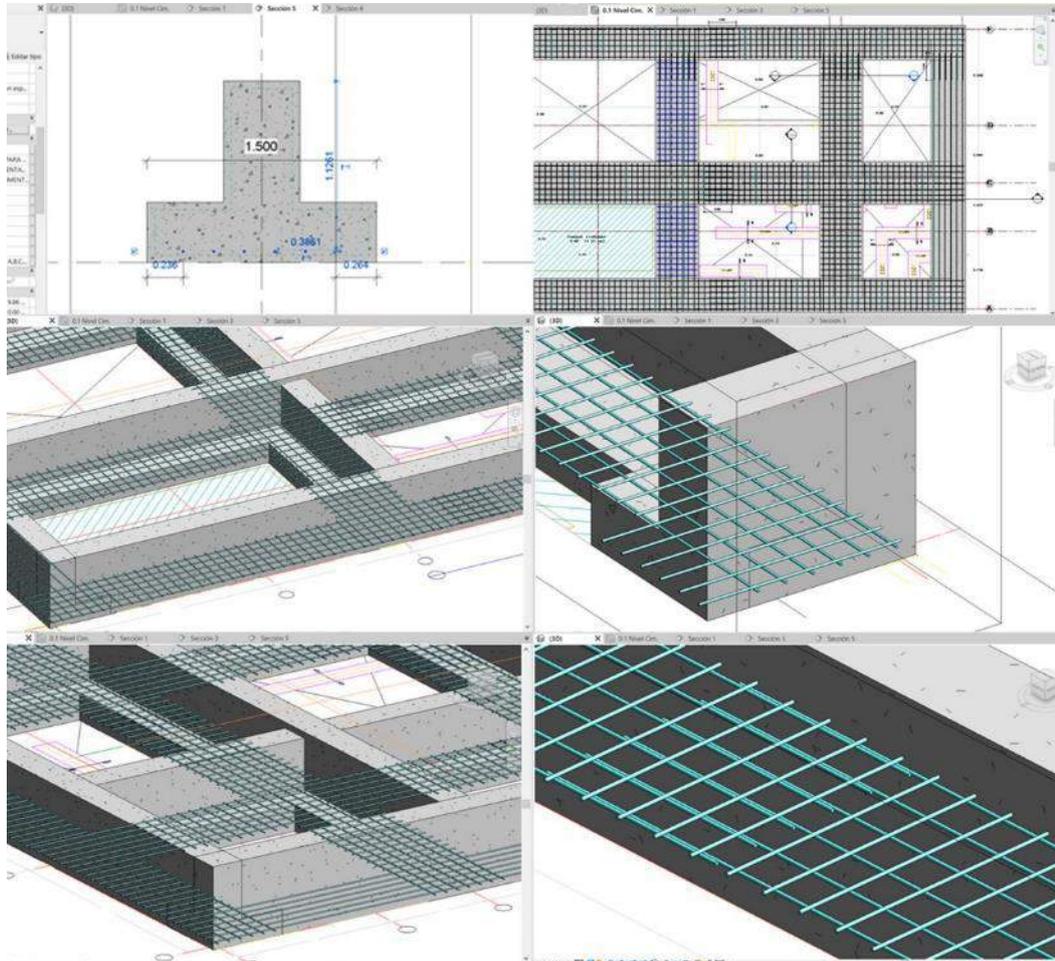
Fuente: *Extraído y modelado en Revit 2020, edición en Photoshop.*

De igual manera se continua con el modelado de los aceros transversales de las vigas de cimentación como se en la figura 85.



Figura 85

Modelado de acero de cimentación de estructuras, vista en corte, planta y 3D.



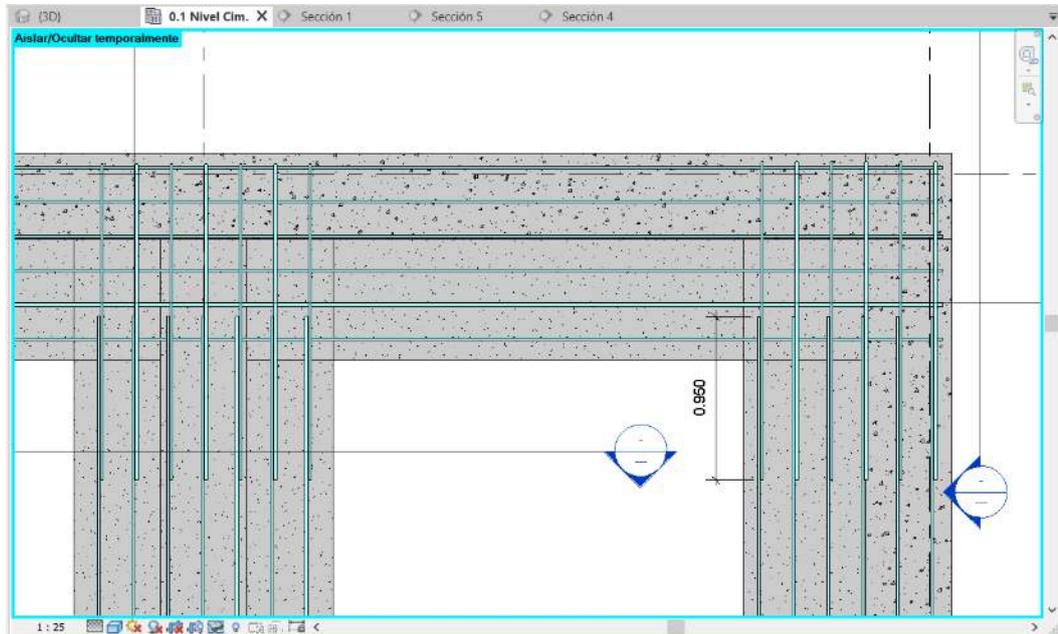
Nota: *El proceso de modelado se ejecutó con criterio constructivo. Fuente:*
Extraído y, modelado en Revit 2020.

Durante el modelado se considera las longitudes correspondientes de empalmes como se ve en la figura a continuación:



Figura 86

Modelado de longitud de empalme en cimentación correspondiente a zona y diámetro.



Nota: Las longitudes de empalme son las que se indican en la norma E.060.

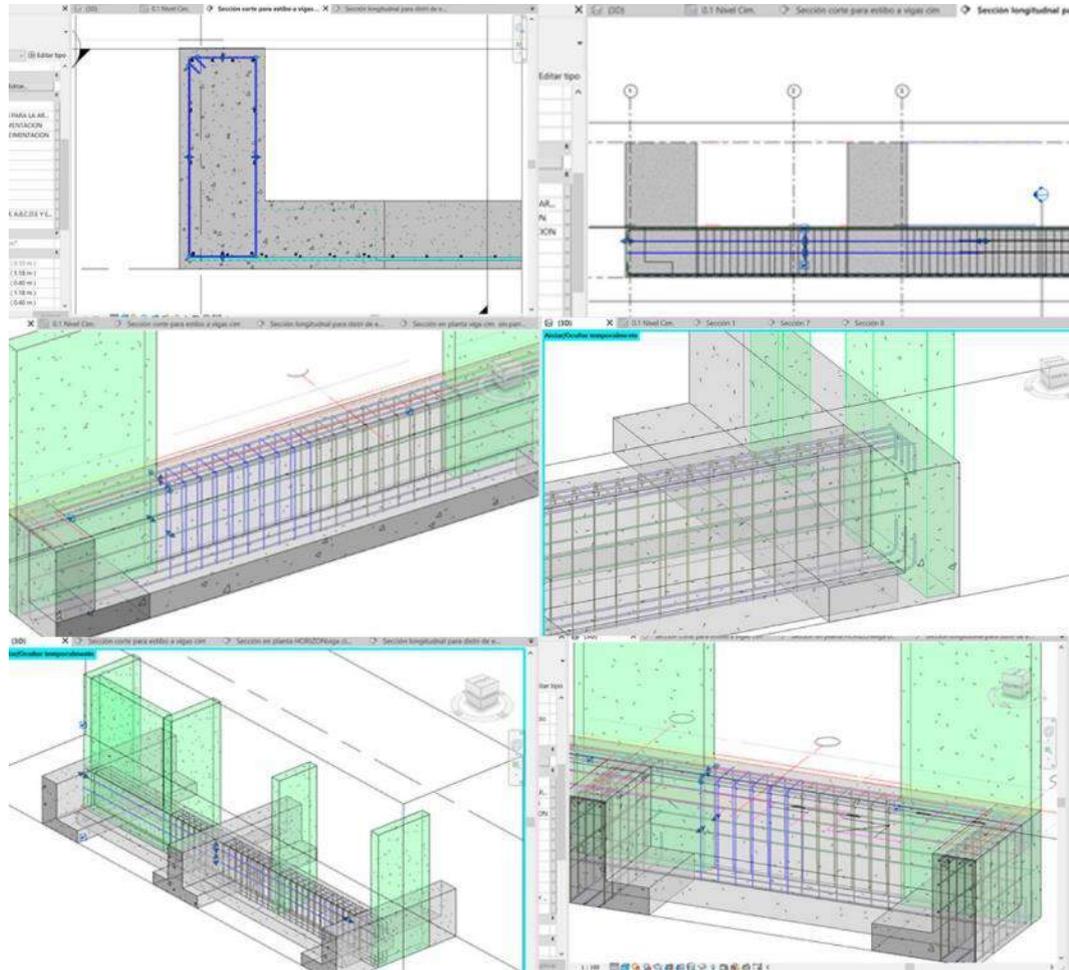
Fuente: Extraído y, modelado en Revit 2020.

Seguidamente se modelan los estribos y aceros longitudinales de las vigas de cimentación, plateas de cimentación y zapatas de ser el caso; respetando los espaciados indicados y sus diámetros correspondientes para cada proyecto.



Figura 87

Modelado de acero de vigas de cimentación de estructuras, vista corte, alzado y 3D.



Fuente: *Extraído y, modelado en Revit 2020.*

Para el modelado de acero de los diferentes tipos de cimentación de las edificaciones, se procedió antes a modelar las placas y columnas para tener mayor facilidad en el colocado de estribos.

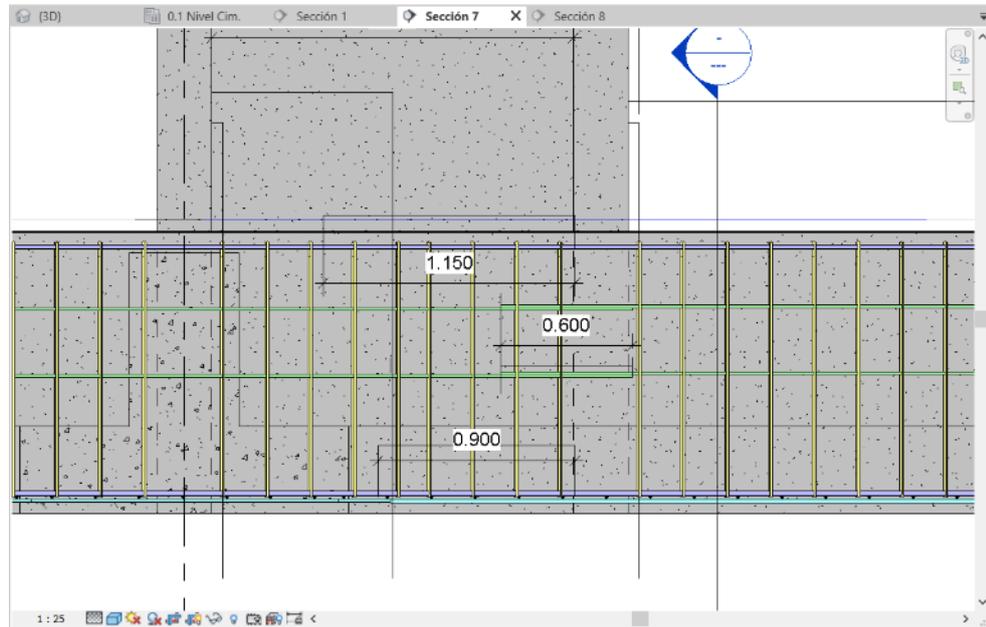
De esta forma evitar las interferías entre los aceros que pertenecen a los elementos verticales con los horizontales de cimentación.

Para el modelado de acero longitudinal, se respeta los criterios de gancho estándar y empalmes sugeridos por la norma y que deben ser modelados y previstos para un correcto metrado. En la figura 88 se aprecia la consideración de empalme en estos elementos:



Figura 88

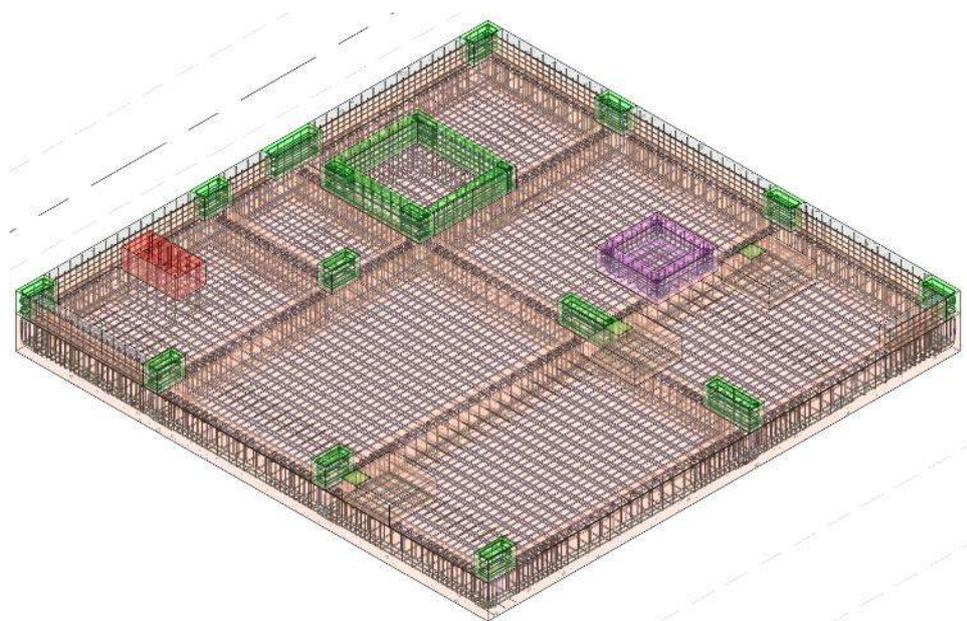
Modelado de longitud de empalme en viga de cimentación correspondiente a zona y diámetro.



Fuente: *Extraído y, modelado en Revit 2020.*

Figura 89

Vista 3D completa de modelado de cimentación.



Fuente: *Extraído y, modelado en Revit 2020.*

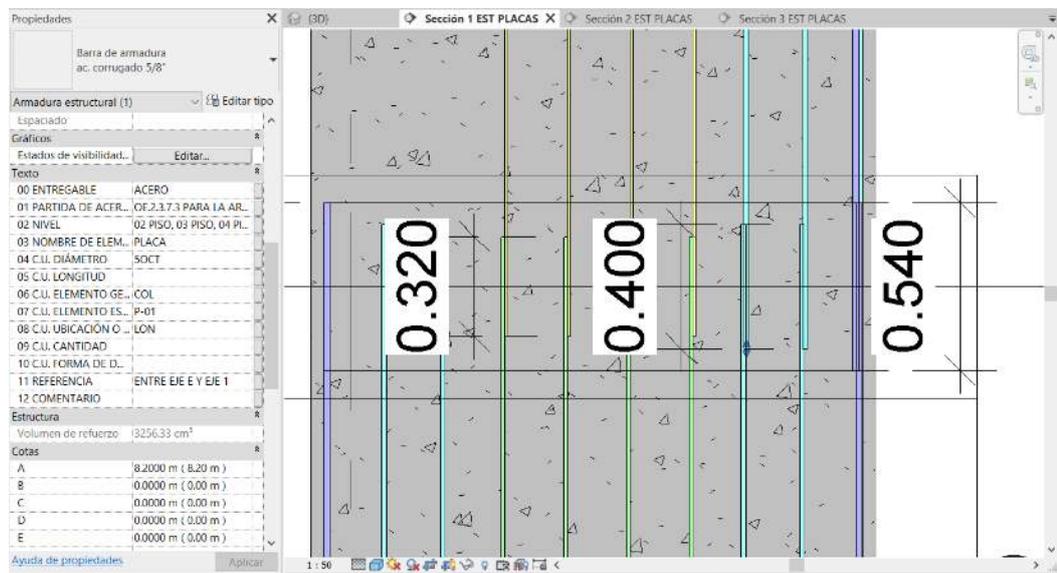


Terminado con el modelado de la cimentación, se procede a realizar el modelado de acero de placas y columnas.

De igual manera para el modelado de estos elementos se respeta la longitud de empalme sugerida, como se aprecia en la imagen:

Figura 90

Modelado de longitud de empalme en columnas y placas correspondiente a zona y diámetro.



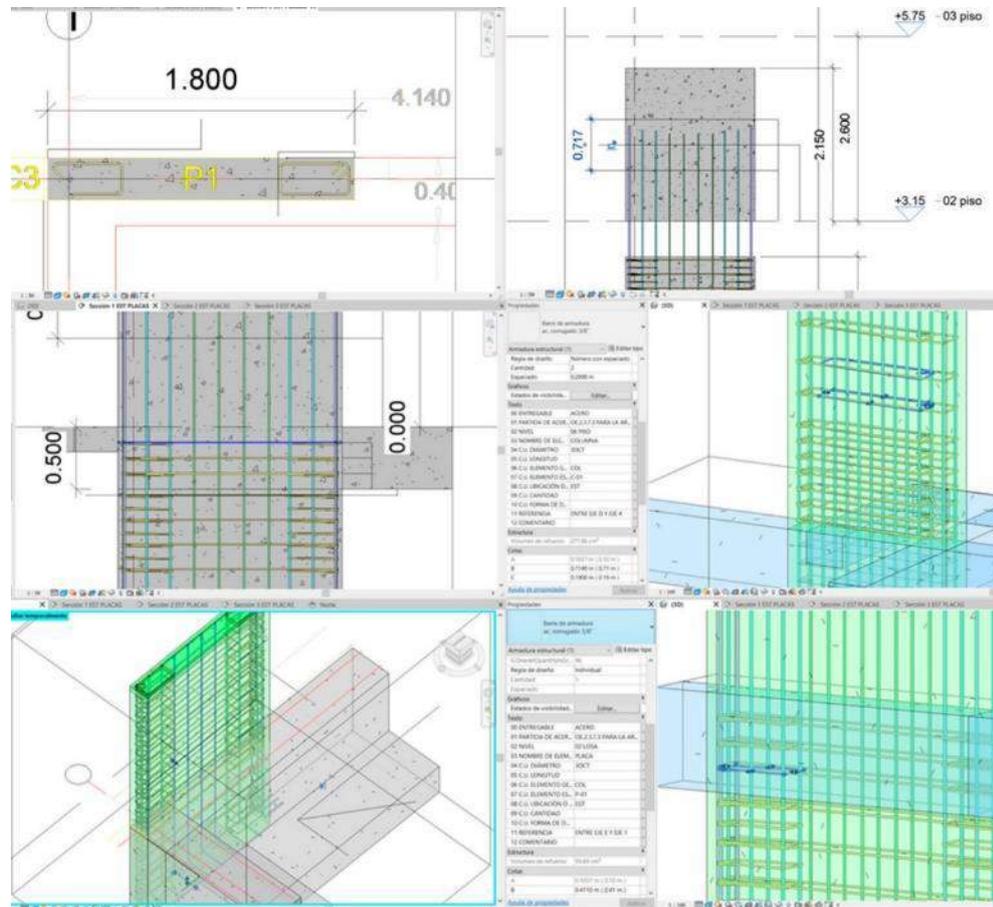
Nota: Las longitudes de empalme son las que se indican en la norma E.060 para columnas. **Fuente:** Extraído y, modelado en Revit 2020.

Seguidamente se modelan los estribos con las separaciones que se indican en los planos:



Figura 91

Modelado de acero de columnas y placas de estructuras, vista planta, alzado y 3D.



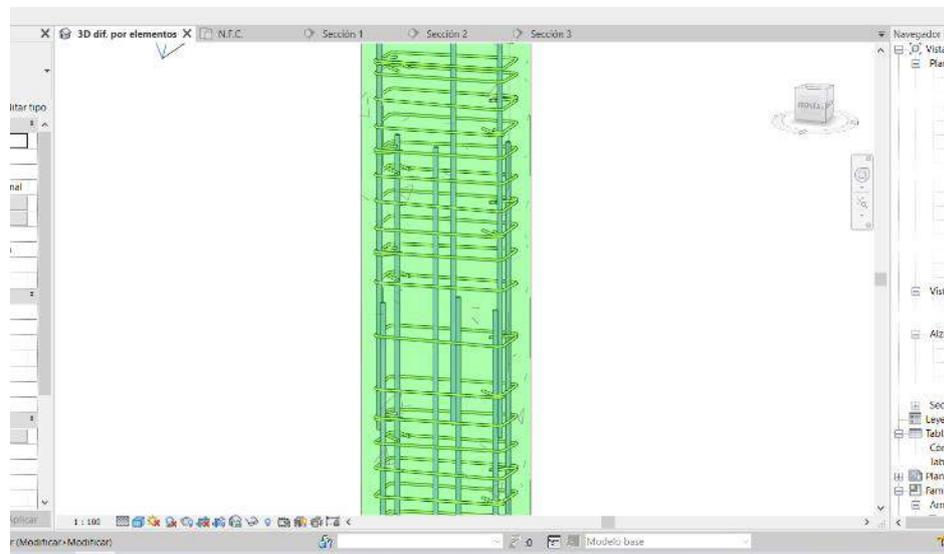
Fuente: *Extraído y, modelado en Revit 2020.*

Se modelaron por adelantado las vigas para poder diferenciar visualmente los estribos sísmicos. Asu vez ese mismo anfitrión nos servirá para modelar el acero de las vigas. Se modela respetando lo indicado en la norma E.060 capítulo 12 haciendo empalmes escalonados.



Figura 92

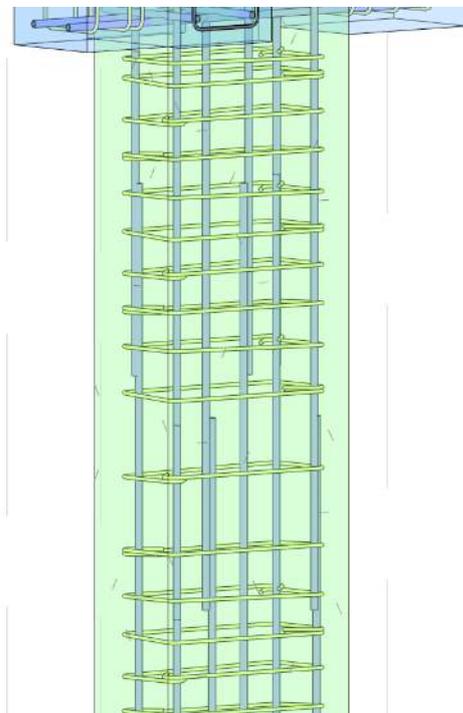
Modelado de empalme escalonado según lo indica la norma E.060 capítulo 12.



Fuente: *Extraído y, modelado en Revit 2020.*

Figura 93

Modelado de empalme escalonado completo según lo indica la norma E.060 capítulo 12.

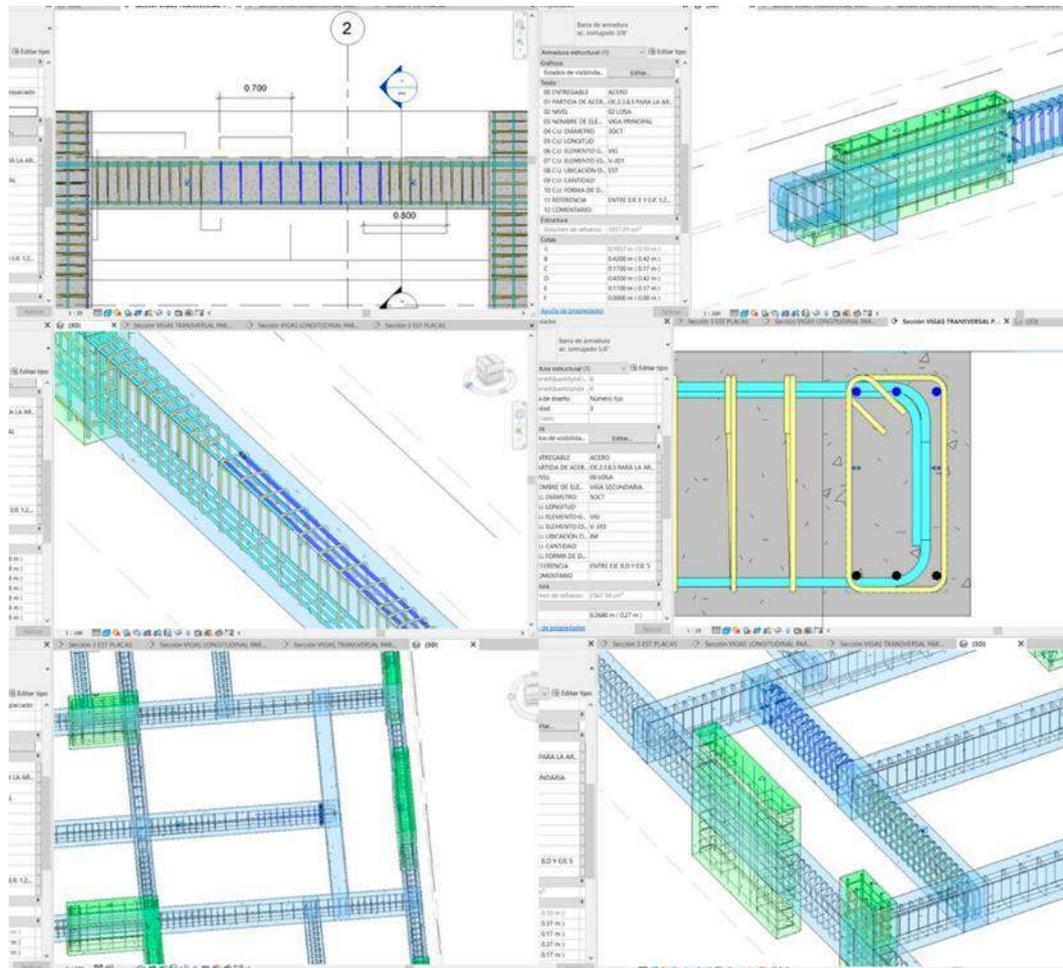


Fuente: *Extraído y, modelado en Revit 2020.*

Seguidamente, se modela el acero en vigas, para ellos se empieza colocando los estribos y luego los aceros longitudinales:

Figura 94

Modelado de acero de vigas de estructuras, vista alzado, corte y 3D.



Fuente: *Extraído y, modelado en Revit 2020.*

El mismo procedimiento se realiza para todas las vigas de los proyectos, durante el modelado es preciso generar cortes específicos que permitan ver y colocar los aceros longitudinales y estribos. De esta manera se asegura un orden y un correcto procedimiento de trabajo.

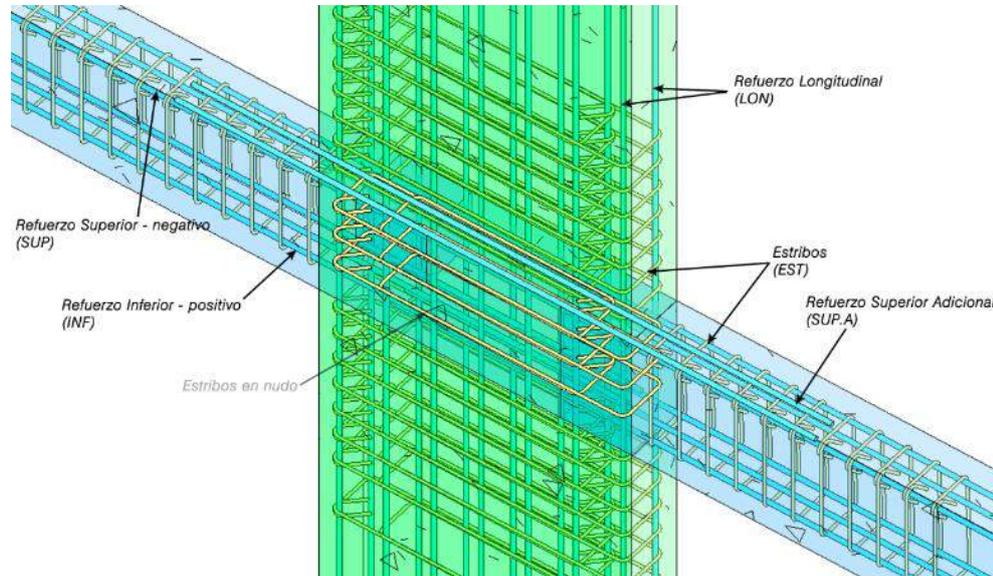
En la imagen anterior se aprecia la confluencia de los aceros que pertenecen a los elementos verticales con los aceros que pertenecen en este caso a las vigas de la edificación.

A continuación, un detalle de lo mencionado:



Figura 95

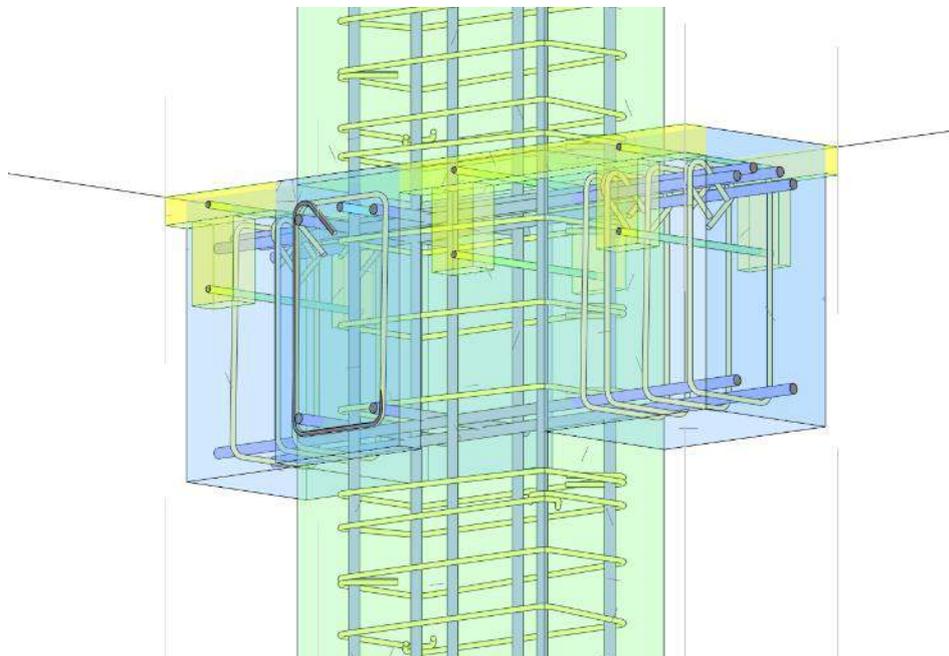
Identificación de aceros perteneciente a viga y placa en nudo estructural.



Fuente: *Extraído y, modelado en Revit 2020.*

Figura 96

Confluencia de aceros perteneciente a viga y placa.



Fuente: *Extraído y, modelado en Revit 2020.*

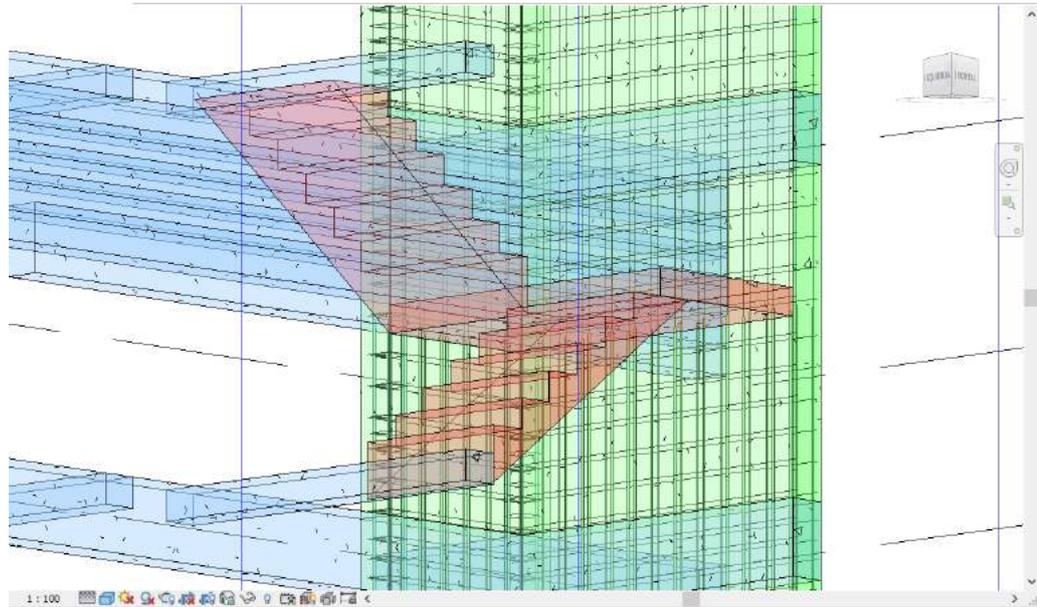
Seguidamente se procede a modelar el anfitrión de la escalera que portara al acero, para poder diferenciarlo se usara otra tonalidad de color. Aplicando el mismo



procedimiento utilizado anteriormente se obtiene primero el anfitrión, como se ve en la imagen:

Figura 97

Modelado de anfitrión para armadura de acero de escaleras.



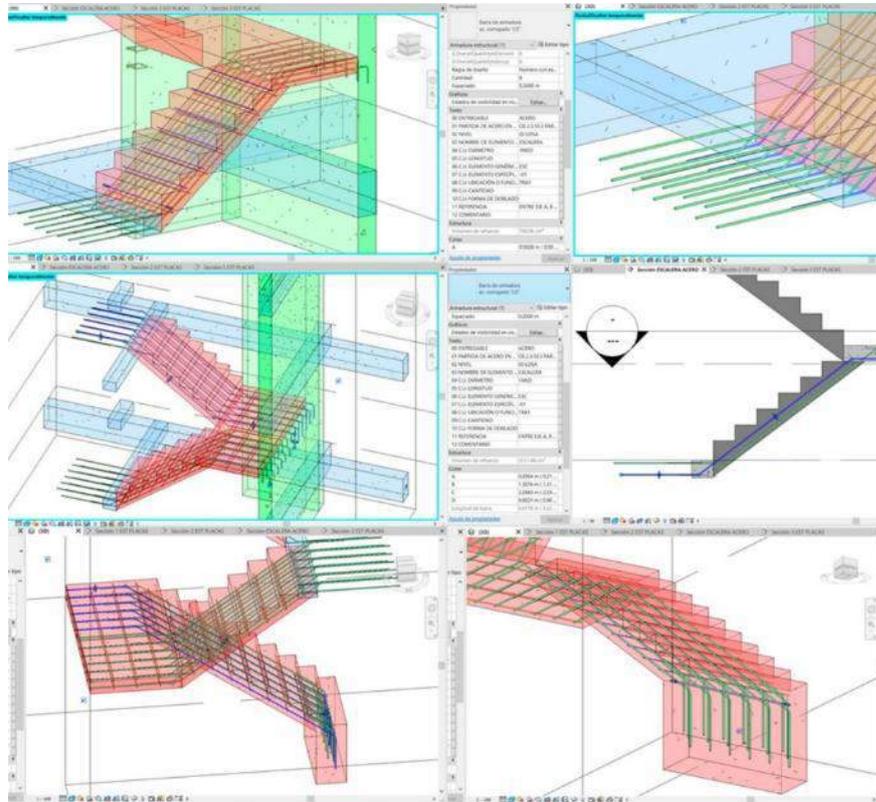
Nota: *Las formas requeridas para las armaduras de la escalera difieren mucho de un proyecto a otro y requieren nuevas formas en el software por lo que la optimización por dobles no es considerada para estos elementos, pero si la longitud de acero requerida, mayor explicación en el índice 4.1.4.3. Fuente: Extraído y, modelado en Revit 2020.*

Con el volumen modelado, se procede a modelar el acero perteneciente al mismo como se aprecia en la imagen a continuación:



Figura 98

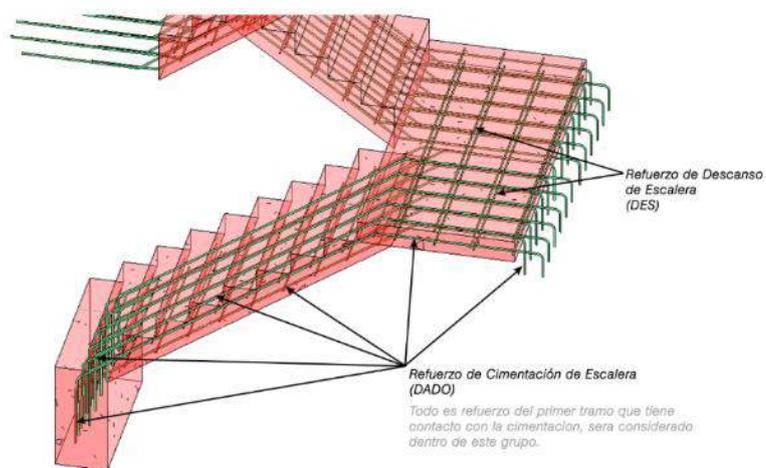
Modelado de acero de escaleras de estructuras, vista en corte y 3D.



Fuente: *Extraído y, modelado en Revit 2020.*

Figura 99

Identificación de aceros perteneciente a cimentación de escalera.



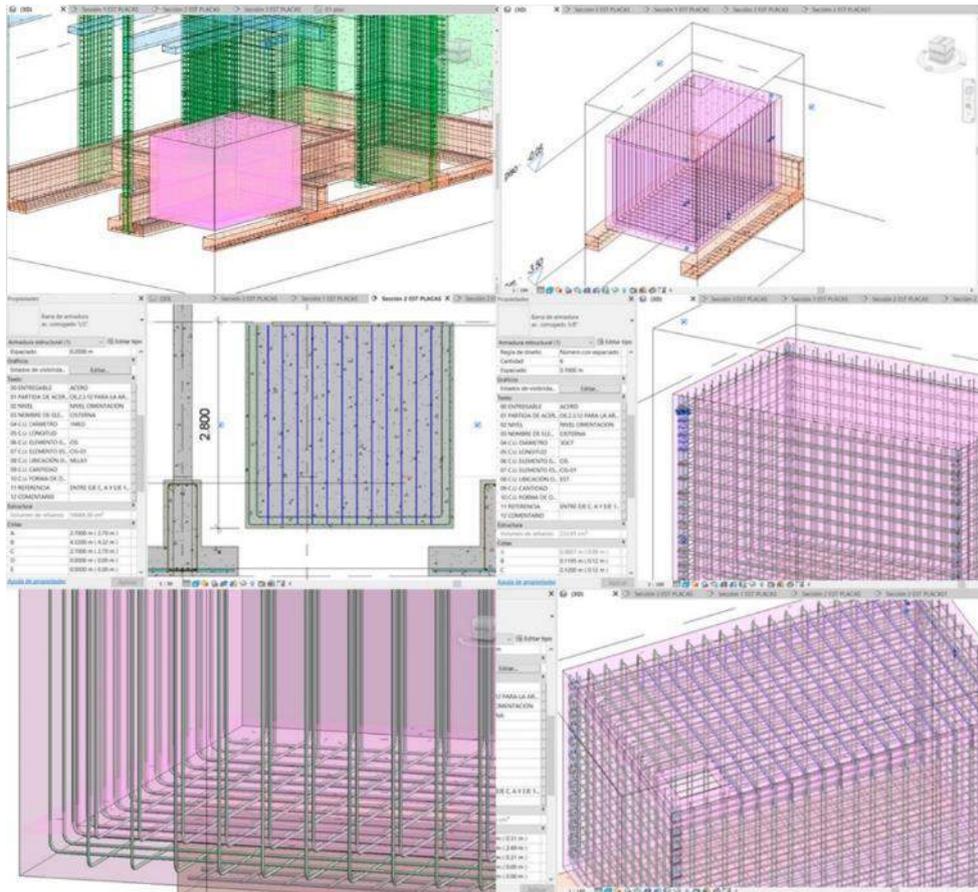
Fuente: *Extraído y modelado en Revit 2020, edición en Photoshop.*



Los proyectos que cuentan con tanque cisterna también se modelan para considerar el acero utilizado, ya que son parte de las partidas de concreto armado. En las imágenes a continuación se detalla el proceso de modelado:

Figura 100

Modelado de acero de tanque cisterna, vista en corte y 3D.



Fuente: *Extraído y, modelado en Revit 2020.*

Para el modelado de acero del tanque cisterna también es necesario crear vistas de corte específicas para mantener el orden durante el proceso. Primero se modela el acero de la base utilizando la longitud máxima de varilla, con criterio de constructibilidad.

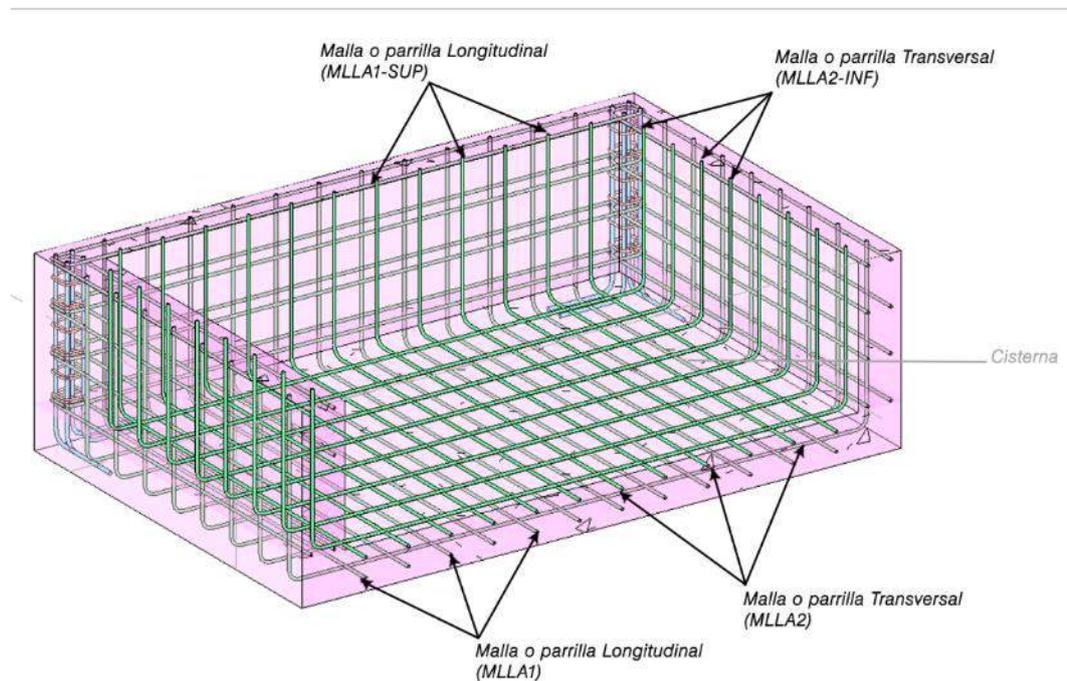
Para una mejor visualización del elemento que modelado en detalle, se recomienda utilizar la opción “caja de sección” para elementos en tres dimensiones y poner enfocarlos solo en ese elemento.

A continuación, una imagen detallando los elementos de acero del tanque cisterna:



Figura 101

Identificación de aceros pertenecientes a tanque cisterna.



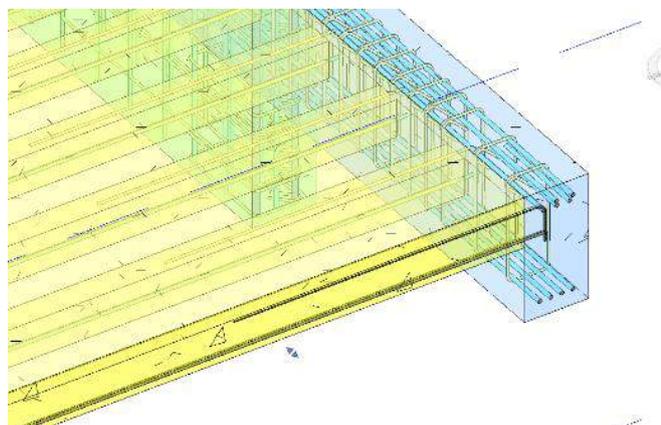
Fuente: *Extraído y modelado en Revit 2020, edición en Photoshop.*

Finalmente se modela las losas aligeradas y macizas de los proyectos, para su diferenciación visual se utiliza otro color.

Se considera dentro del modelado de las losas, el acero de temperatura que ira en la carpeta maciza de las losas aligeradas y para los aceros de refuerzo de las viguetas se modelan cada una de estas como se ve a continuación:

Figura 102

Modelado de acero en losas de los proyectos.



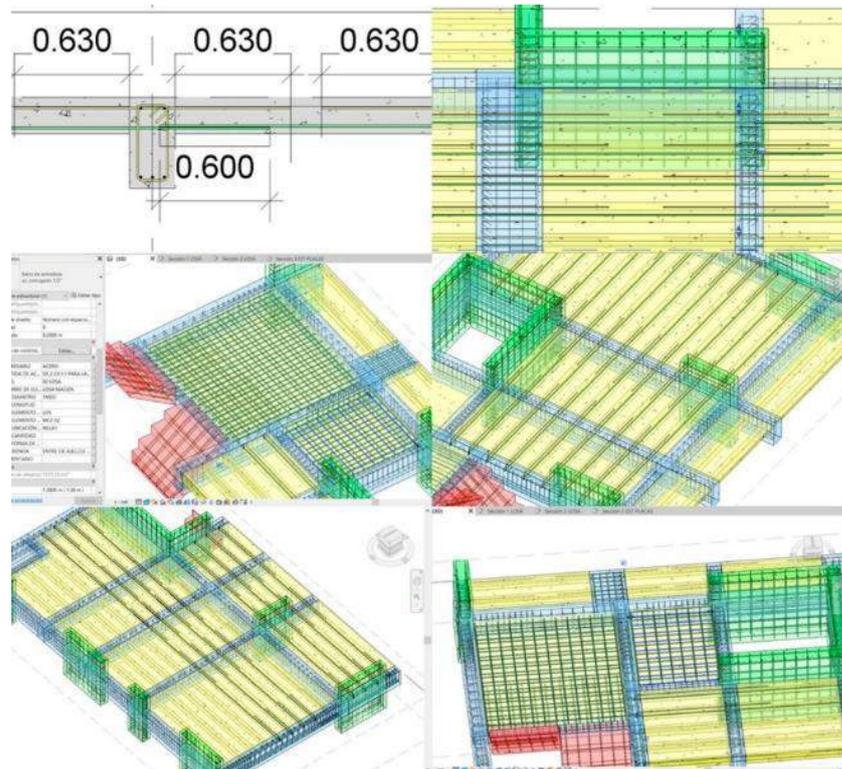


Fuente: *Extraído y, modelado en Revit 2020.*

Para el proceso de modelado de acero para las losas ese ve a continuación en la siguiente imagen:

Figura 103

Modelado de acero de losas, vista en corte y 3D.



Fuente: *Extraído y, modelado en Revit 2020.*

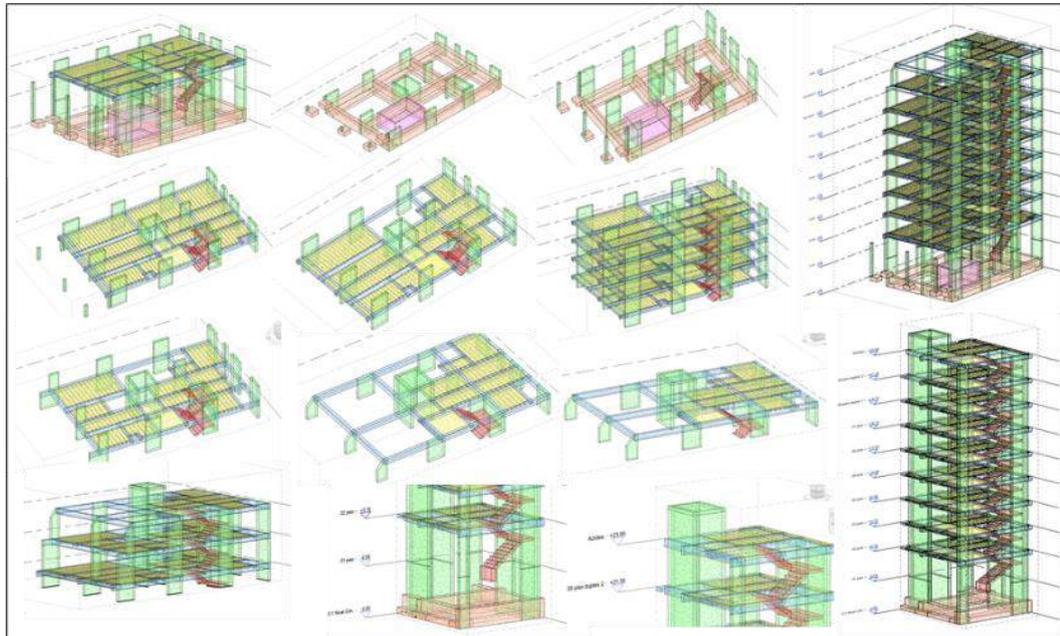
De esta forma se tienen modeladas todas las piezas de la los proyectos.

Con la información correctamente modelada, se genera una tabla de planificación que contenta la información ordenada de todas las piezas que se necesitan para ejecutar el proyecto.



Figura 104

Resumen de modelado total de estructuras.



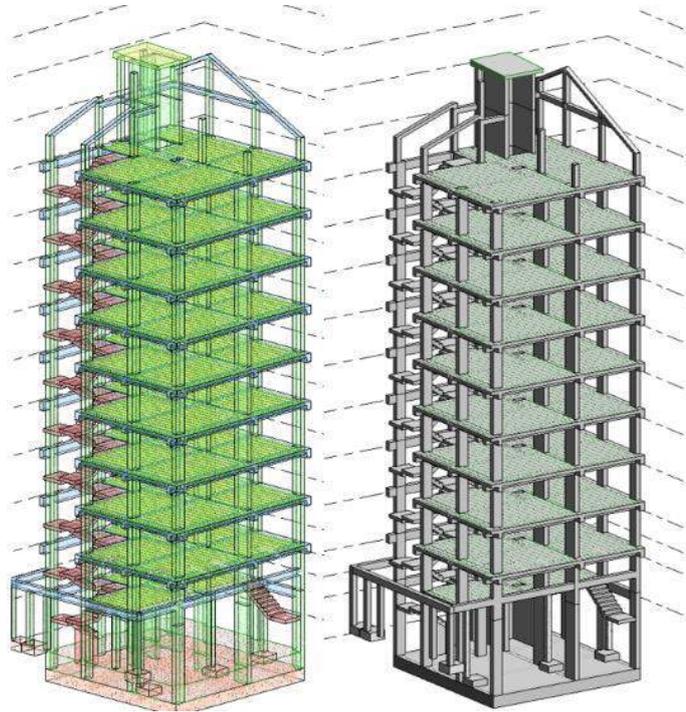
Nota: *Todos los elementos estructurales de la edificación son modelados con un color distinto para su respectivo reconocimiento y facilitación del trabajo.*

Fuente: *Extraído y, modelado en Revit 2020.*



Figura 105

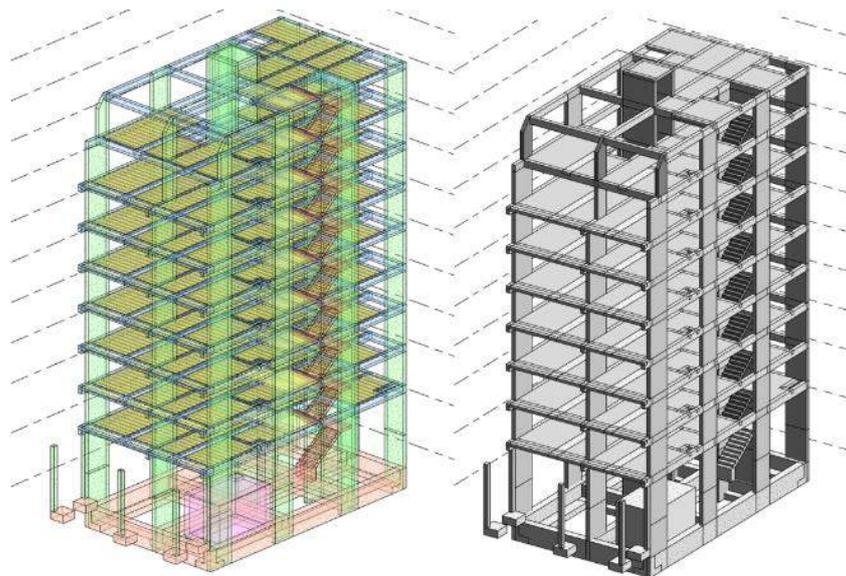
Modelado completo de Proyecto 1.



Fuente: *Extraído y, modelado en Revit 2020.*

Figura 106

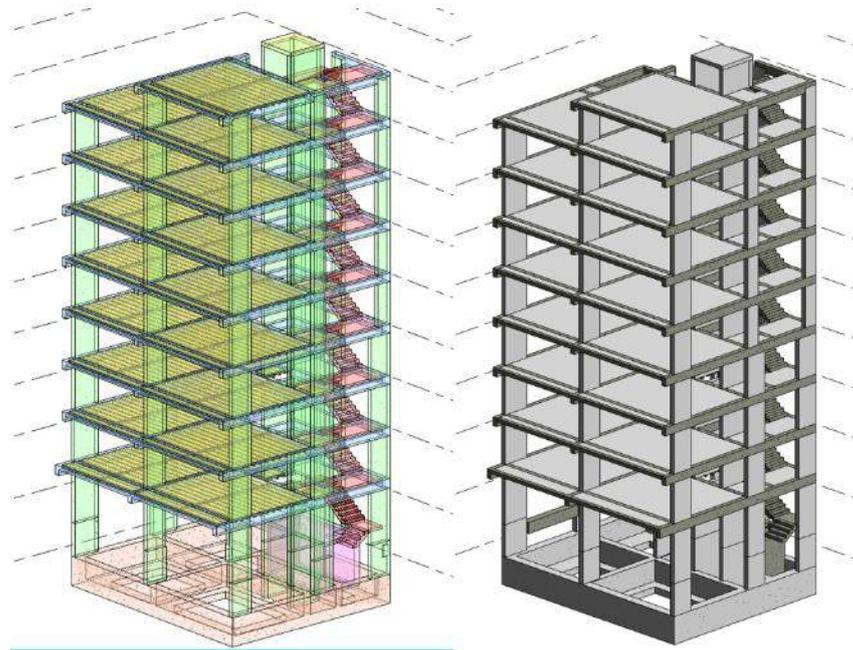
Modelado completo de Proyecto 2.



Fuente: *Extraído y, modelado en Revit 2020.*

Figura 107

Modelado completo de Proyecto 3.



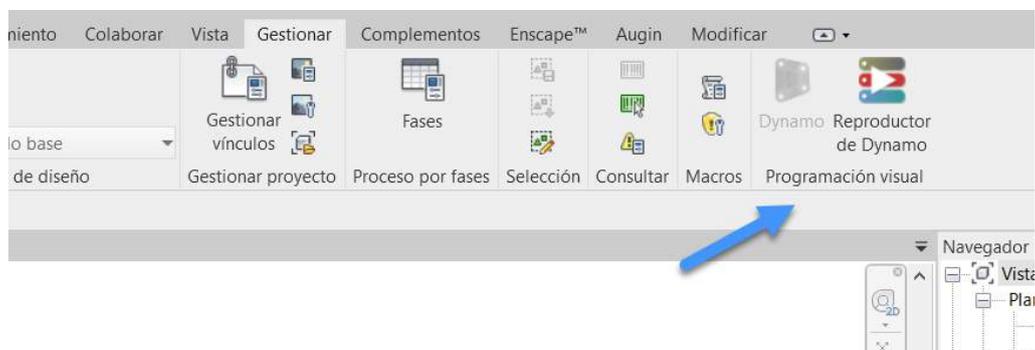
Fuente: *Extraído y, modelado en Revit 2020.*

4.1.5. Exportación de datos con Dynamo

Una vez modelado el proyecto completo de forma correcta, se procede a la exportación de todos los datos generados por cada una de las piezas de acero necesarias para construir el proyecto.

Figura 108

Ubicación de reproductor de Dynamo en Revit 2020.



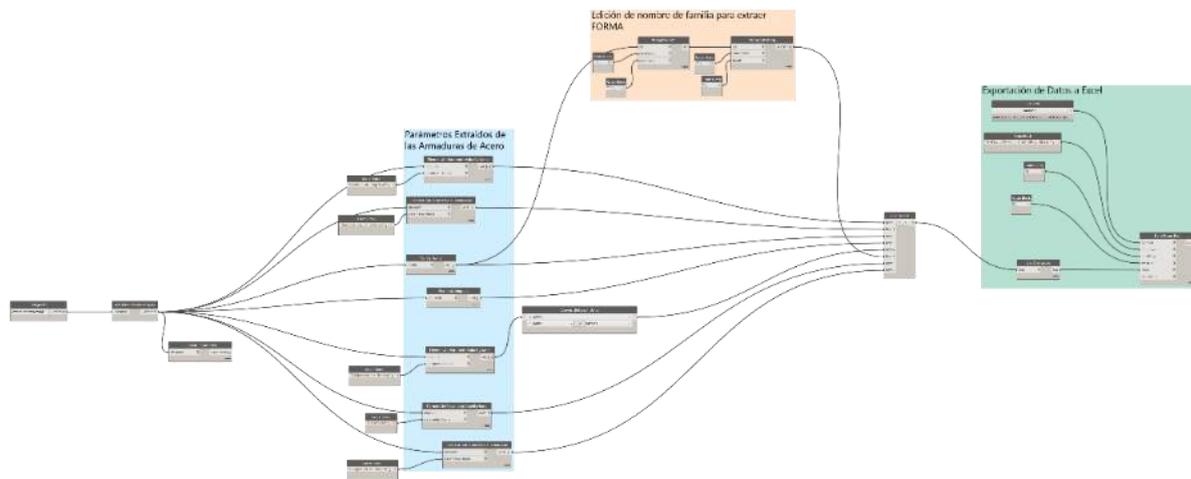
Fuente: *Extraído de Revit 2020.*

La ventaja del uso de este programa es la automatización de tareas que nos permite optimizar tiempos de trabajo. En el presente capítulo de la investigación únicamente se indica el proceso de uso del algoritmo, la programación creada es anexada como aporte de la investigación en el apéndice H.

El algoritmo creado en el software Dynamo nos permitirá enviar directamente la información de las piezas de acero a la hoja de cálculo Microsoft Excel de forma ordenada, como se ve en la figura a continuación:

Figura 109

Algoritmo en Dynamo para extracción de información y exportación de datos a hoja de cálculo.



Nota: El algoritmo completo es anexado como aporte en el apéndice H. **Fuente:** Elaboración propia, Dynamo - Revit 2020.

Los Datos que se exportan son:

- 1. Nombre Empresa
- 2. Nombre de Proyecto
- 3. Nombre de la Familia
- 4. Código de elemento único
- 5. Diámetro de barra
- 6. Nombre de la forma utilizada
- 7. Cantidad
- 8. Longitud de desarrollo de la barra

El software Dynamo, para la exportación de datos, necesita de una “hoja” preparada con las columnas listas para recepcionar la información que se envía. Como se ve a continuación:

Figura 110

Columnas necesarias en hoja de cálculo para la recepción de datos exportados con Dynamo.

Fuente: Extraído de Dynamo – Microsoft Excel.

De esta manera todos los datos exportados; de la columna 1 a la 8 serán alojados en la hoja de cálculo para su posterior cálculo de incrementos y decrementos, como se muestra en la columna 9 y 12. La hoja de Cálculo es explicada y anexada en el apéndice I.

4.1.6. Proceso de tratamiento de datos con Microsoft Excel

Una vez se tengan los datos en la hoja de cálculo se procede a realizar los cálculos correspondientes respecto a las variaciones de longitud de desarrollo total por doblez en función del diámetro y ángulo de habilitado de la pieza.

Para automatizar el proceso se crea dos hojas de cálculo, una con los datos de “Incremento y Decremento de las piezas” y a su vez una hoja de cálculo con estas variaciones calculadas para los tipos de piezas más comunes utilizadas en los proyectos de edificaciones de concreto armado; descritas en el capítulo 4.1.4.3.

De esta manera podemos hallar las longitudes de desarrollo reales necesarias para la habilitación de las piezas, a su vez esta hoja de cálculo sirve para el filtrado por diámetro y longitud, de esta manera agrupar los datos y estar aptos para ser importados por el software optimizador de corte lineal.



La primera hoja de cálculo es información recolectada de la tesis titulada: “Sistematización de detalles, habilitación y armado de aceros ASTM A615 para construcciones de concreto armado: Impacto técnico, económico y ambiental” del autor Yober Castro Atau (2010) quien calcula las variaciones de incremento y decremento por doblez en refuerzos, basado en los diámetros y ángulo de habilitado del refuerzo.

Tabla 24

Tabla de incremento y decremento por doblez en refuerzos.

Denominación	Δ: Incremento y Decremento por Dobleza en Refuerzos (m)							
	LONGITUDINALES				ESTRIBOS			
	(db)	45°	90°	135°	180°	45°	90°	135°
6mm	-0.004	-0.015	0.005	0.017	-0.003	-0.013	0.001	0.010
1/4"	-0.004	-0.016	0.005	0.018	-0.004	-0.014	0.001	0.011
8mm	-0.005	-0.020	0.006	0.023	-0.004	-0.017	0.002	0.014
3/8"	-0.006	-0.024	0.007	0.027	-0.005	-0.020	0.002	0.016
12mm	-0.007	-0.031	0.009	0.035	-0.007	-0.026	0.003	0.020
1/2"	-0.008	-0.032	0.010	0.037	-0.007	-0.027	0.003	0.022
5/8"	-0.009	-0.041	0.012	0.046	-0.009	-0.034	0.004	0.027
3/4"	-0.011	-0.049	0.015	0.055	-0.011	-0.049	0.015	0.055
7/8"	-0.013	-0.057	0.017	0.064	-0.013	-0.057	0.017	0.064
1"	-0.015	-0.065	0.020	0.073	-0.015	-0.065	0.020	0.073
1 1/8"	-0.018	-0.085	0.037	0.116	-0.017	-0.073	0.022	0.082
1 1/4"	-0.020	-0.094	0.041	0.129	-0.019	-0.081	0.024	0.092
1 3/8"	-0.022	-0.104	0.045	0.141	-0.021	-0.089	0.027	0.101

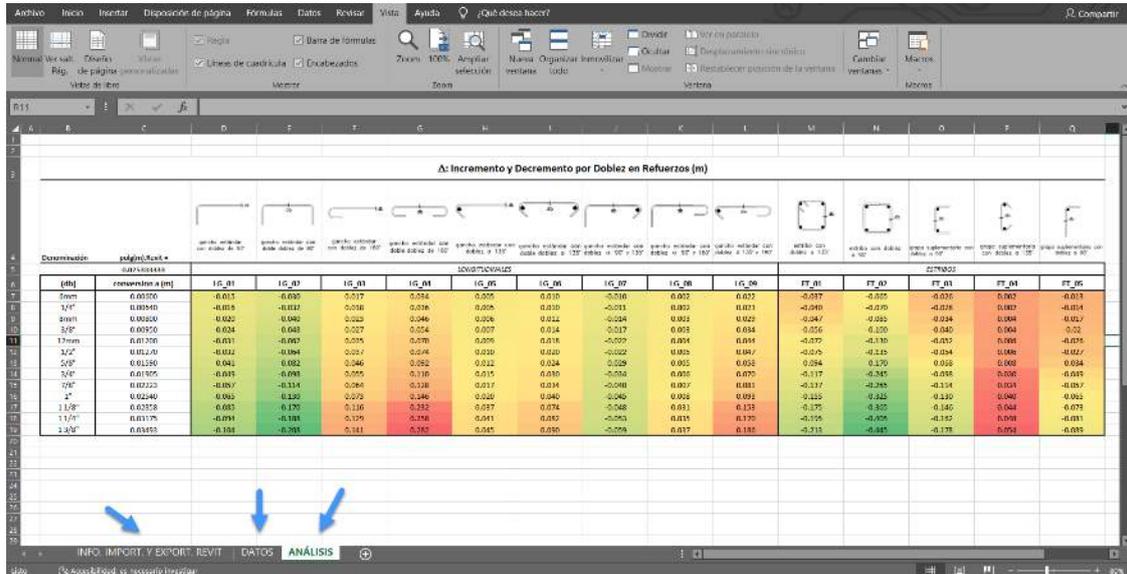
Fuente: Información extraída y adaptada de (Castro Atau, 2010).

Esta información es automatizada con el criterio de creación de formas utilizadas comúnmente es estructuras de edificaciones descrito en el capítulo 4.1.4.3 de la presente investigación. El resultado de multiplicar el número de dobleces encontrados en piezas de construcción comunes en edificaciones es el siguiente.



Figura 111

Hojas de cálculo necesarias para la automatización de la información.



Fuente: Extraído de Microsoft Excel.

Figura 112

Interpretación de los valores hallados por incremento y decremento en formas de armadura conocidas.

Denominación	pulg(m).Revit = 0.025333333	LONGITUDIN		
		LG_01	LG_02	LG_03
(db)	conversion a (m)			
6mm	0.00600	-0.015	-0.030	0.017
1/4"	0.00640	-0.016	-0.032	0.018
8mm	0.00800	-0.020	-0.040	0.023
3/8"	0.00950	-0.024	-0.048	0.027
12mm	0.01200	-0.031	-0.062	0.035
1/2"	0.01270	-0.032	-0.064	0.037
5/8"	0.01590	-0.041	-0.082	0.046
3/4"	0.01905	-0.049	-0.098	0.055
7/8"	0.02223	-0.057	-0.114	0.064
1"	0.02540	-0.065	-0.130	0.073
1 1/8"	0.02858	-0.085	-0.170	0.116
1 1/4"	0.03175	-0.094	-0.188	0.129
1 3/8"	0.03493	-0.104	-0.208	0.141

Fuente: Extraído de Microsoft Excel.



Los tonos verdes simbolizan a los valores que nos harán disminuir la longitud de desarrollo final, es decir son las formas que provocan incrementos y que por consecuencia hace que la longitud real para desarrollar la pieza sea menor que sin considerar la variación; lo contrario sucede con los tonos que se acercan al rojo, esos valores nos hacen aumentar la longitud de desarrollo final pues son valores en decremento.

Las fórmulas creadas y los cálculos completos para todas las formas creadas son anexadas en el apéndice I; como aporte de la investigación.

4.1.7. *Importación de datos y optimización con CutLogic 1D*

Para la importación de datos al programa es necesario crear una nueva hoja de cálculo y respetar el orden de filtrado primero por diámetro ya que el programa optimiza a un tipo de material a la vez, es decir que deberá seguir un orden donde no deben mezclarse los diferentes tipos de diámetros.

Las longitudes de desarrollo iguales que se vayan a obtener en la exportación de son agrupadas, pues las condiciones son: primero agrupar por diámetros iguales, agrupar las piezas que requieran la misma longitud desarrollo y finalmente saber cuántas de esas piezas son requeridas.

En la siguiente figura 113 se aprecia cual es el formato de importación de datos necesario para poder trabajar con la información.

Figura 113

Orden de los datos recopilados para la correcta importación al software de optimización CutLogic 1D.

1	2	3
Longitud de Desarrollo Real	Cantidad	Descripción
0.572	220	Proyecto 1- 3/8"
0.632	1063	Proyecto 1- 3/8"
0.652	48	Proyecto 1- 3/8"
0.772	146	Proyecto 1- 3/8"
0.807	263	Proyecto 1- 3/8"
0.832	50	Proyecto 1- 3/8"
0.842	405	Proyecto 1- 3/8"
0.972	662	Proyecto 1- 3/8"
1.127	12	Proyecto 1- 3/8"
1.129	12	Proyecto 1- 3/8"
1.172	175	Proyecto 1- 3/8"



Fuente: *Extraído de Microsoft Excel para importar en Cut Logic 1D.*

- 1: Longitud de Desarrollo Real (longitud de desarrollo aplicando variación por dobles)
- 2: Cantidad total de piezas requeridas de esa dimensión.
- 3: Código de diámetro para el reconocimiento.

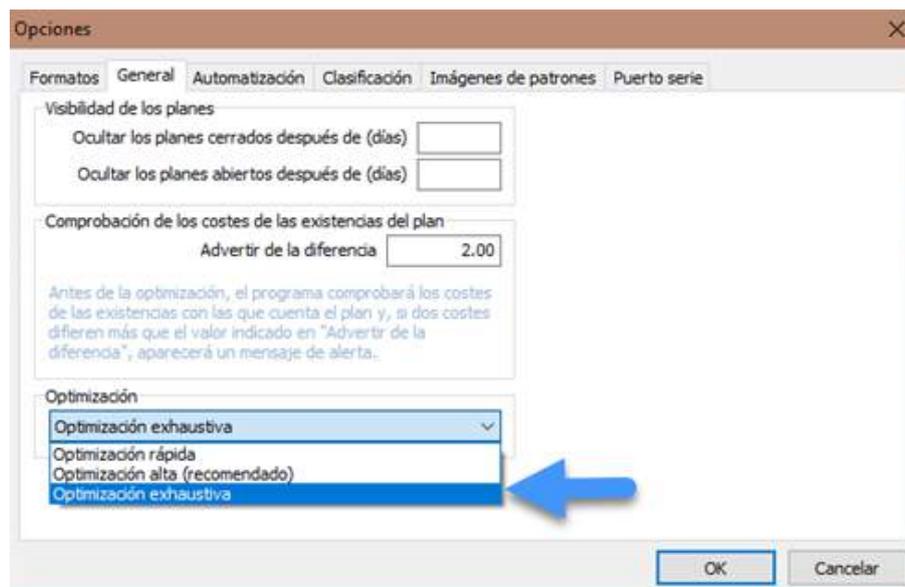
En esta etapa del proceso es necesario configurar las opciones para que se consideren las longitudes reales de varilla comercial y los gastos por corte de varilla, datos que fueron recolectados de manera in-situ y son explicados en el capítulo 4.1.1 y 4.1.2 respectivamente.

El proceso de configuración de estos datos es un anexo presentado como aporte de la investigación en el apéndice J.

Con las configuraciones realizadas, y los datos correctamente importados se procede a ejecutar la optimización de las piezas, el proceso tiene una duración en función de la cantidad de información y la exigencia de optimización; para la investigación se usará la optimización de mayor calidad, como se muestra en las imágenes.

Figura 114

Configuración de nivel de optimización en software Cut Logic 1D.

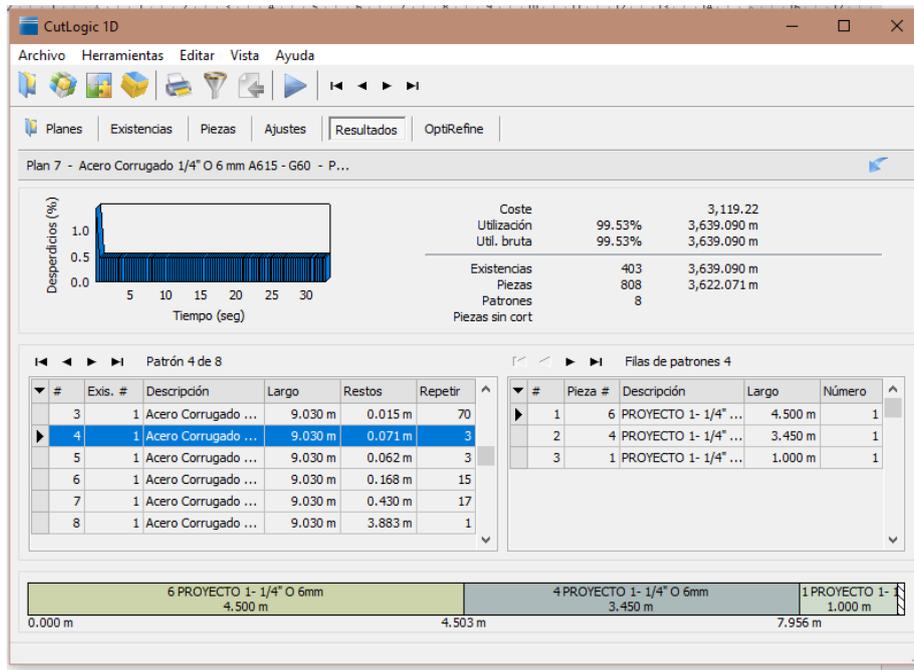


Fuente: *Extraído de Cut Logic 1D.*



Figura 115

Proceso de optimización de cortes en Cut Logic 1D.



Fuente: Extraído de Cut Logic 1D.

El resultado es el reporte de patrones de corte necesarios para obtener todas las piezas requeridas para el armado completo de la estructura de concreto armado, este reporte incluye las variaciones por dobléz, el consumo por corte y la misma optimización por longitud real de varilla.



Figura 116

Resultados de patrones de corte obtenidos en Cut Logic 1D.

Patrones de corte							
Plan #8 - Acero Corrugado 3/8" A615 - G60 - Plan de corte - PROYECTO 1					07/02/2022		
Nota 1	En long. real de varilla			Coste	39,414.90		
Nota 2				Utilización	99.34% 18,556.650 m		
Nota 3				Util. bruta	99.34% 18,556.650 m		
Nombre:				Existencias	2,055 18,556.650 m		
				Piezas	12,816 18,434.025 m		
				Patrones	39		
				Piezas sin cort			
Ancho del corte	0.003 m	Recorte izquierdo	Largo mín. de sobrante				
Pieza incremento		Recorte derecho	Almacén para sobrante - Default				
Patrón	Exis. #	Descripción		Restos	Largo	Repetir	
1 of 39	1	Acero Corrugado 3/8" A615 - G60			9.030 m	136x	
		29 PROYECTO 1- 3/8" 2.372 m	25 PROYECTO 1- 3/8" 2.062 m	23 PROYECTO 1- 3/8" 1.574 m	20 PROYECTO 1- 3/8" 1.393 m	7 PROYECTO 1- 3/8" 0.842 m	4 PROYECTO 1- 3/8" 0.772 m
0.000 m		2.375 m		4.440 m	6.017 m	7.413 m	8.258 m
#	Pieza #	Descripción		Pedido #	Largo	Número	
1	29	PROYECTO 1- 3/8"			2.372 m	1	
2	25	PROYECTO 1- 3/8"			2.062 m	1	
3	23	PROYECTO 1- 3/8"			1.574 m	1	
4	20	PROYECTO 1- 3/8"			1.393 m	1	
5	7	PROYECTO 1- 3/8"			0.842 m	1	
6	4	PROYECTO 1- 3/8"			0.772 m	1	
Patrón	Exis. #	Descripción		Restos	Largo	Repetir	
2 of 39	1	Acero Corrugado 3/8" A615 - G60			9.030 m	15x	
		28 PROYECTO 1- 3/8" 2.112 m	24 PROYECTO 1- 3/8" 1.632 m	20 PROYECTO 1- 3/8" 2 x 1.393 m	17 PROYECTO 1- 3/8" 1.313 m	11 PROYECTO 1- 3/8" 1.172 m	
0.000 m		2.115 m		3.750 m	6.542 m	7.858 m	
#	Pieza #	Descripción		Pedido #	Largo	Número	
1	28	PROYECTO 1- 3/8"			2.112 m	1	
2	24	PROYECTO 1- 3/8"			1.632 m	1	
3	20	PROYECTO 1- 3/8"			1.393 m	2	
4	17	PROYECTO 1- 3/8"			1.313 m	1	

Fuente: *Extraído de los resultados obtenidos de Cut Logic 1D.*

El mismo procedimiento se realiza para cada diámetro de cada proyecto.

4.2. Plan de análisis de datos

En este capítulo se procede a analizar los datos apropiadamente recolectados.



Primeramente, se resume las cantidades de acero utilizadas en el proceso de corte por la habilitación de todas las piezas del proyecto, obteniendo como resultado el porcentaje de kilogramos consumidos por proceso de corte.

Seguidamente se calculará el porcentaje de kilogramos aprovechados y desaprovechados por el proceso de doblado de las piezas, de esta manera se obtiene una respuesta en kilogramos de acero.

Se continúa obteniendo la diferencia de varillas totales consumidas por proyecto en optimizaciones con longitud real de varilla medida in-situ y longitud de varilla comercial teórica, de esta manera se obtiene una respuesta en unidades de varilla y kilogramos.

Posteriormente se resume las cantidades de varillas y kilogramos necesarias por diámetro para cada proyecto y así obtener los kilogramos totales de acero utilizado por proyecto y dar una respuesta porcentual para mejor interpretación.

Este total de acero es comparado y resuelto respecto al total de acero liquidado después de la ejecución completa de estructuras del proyecto en el capítulo 4.3, la diferencia hallada mediante un promedio ponderado dará como resultado el promedio de desperdicio hallada para la edificación.

Por último, estos kilogramos totales de acero hallados como desperdicio serán relacionados con el costo promedio de acero y obtener como resultado el presupuesto promedio por uso ineficiente del acero en los proyectos.

Para hallar el costo promedio por kilogramo de acero se realizan los siguientes cálculos en base a los datos proporcionados para los tres proyectos (apéndice E).

Los datos de peso nominal son los expuestos en el capítulo 2.2.8.1.



- Costo promedio por kilogramo de acero – Proyecto 1

Tabla 25

Costo promedio por kilogramo de acero – Proyecto 1

PROYECTO - 1

Marca de Acero	Descripción	Unidad	a	b	
			Metrado	Parcial (S/.)	
Aceros Arequipa	Acero ASTM A615 - G60 - Ø 1/4" O 6MM	VARILLA	449	3,475.26	
Aceros Arequipa	Acero ASTM A615 - G60 - Ø 3/8"	VARILLA	2,203	42,253.54	
Aceros Arequipa	Acero ASTM A615 - G60 - Ø 1/2"	VARILLA	1,115	38,133.00	
Aceros Arequipa	Acero ASTM A615 - G60 - Ø 5/8"	VARILLA	293	15,517.28	
Aceros Arequipa	Acero ASTM A615 - G60 - Ø 3/4"	VARILLA	943	73,638.87	
Aceros Arequipa	Acero ASTM A615 - G60 - Ø 1"	VARILLA	0	0.00	
ax9.03 = c			d	cx d = e	b/e
LONG. TOTAL (m) (9.03*)	PESO/METRO (Kg/m)	KILOGRAMOS TOTALES (Kg)	SOLES/KILOGRAMO	PROMEDIO (Soles/Kg)	
4,054.47	0.222	900.09	3.861003861	3.822	
19,893.09	0.56	11,140.13	3.792912514		
10,068.45	0.994	10,008.04	3.810236836		
2,645.79	1.552	4,106.27	3.778927059		
8,515.29	2.235	19,031.67	3.86927988		
0.00	3.973	0.00	0		

Nota: El año de ejecución de las estructuras según datos proporcionados fue en agosto – noviembre del año 2021.

- Costo promedio por kilogramo de acero – Proyecto 2

Tabla 26

Costo promedio por kilogramo de acero – Proyecto 2

PROYECTO - 2

Marca de Acero	Descripción	Unidad	a	b	
			Metrado	Parcial (S/.)	
Aceros Arequipa	Acero ASTM A615 - G60 - Ø 1/4" O 6MM	VARILLA	465	2,729.55	
Aceros Arequipa	Acero ASTM A615 - G60 - Ø 3/8"	VARILLA	3,076	46,755.20	
Aceros Arequipa	Acero ASTM A615 - G60 - Ø 1/2"	VARILLA	1,980	53,262.00	
Aceros Arequipa	Acero ASTM A615 - G60 - Ø 5/8"	VARILLA	1,784	75,463.20	
Aceros Arequipa	Acero ASTM A615 - G60 - Ø 3/4"	VARILLA	158	9,875.00	
Aceros Arequipa	Acero ASTM A615 - G60 - Ø 1"	VARILLA	0	0.00	
ax9.03 = c			d	cx d = e	b/e
LONG. TOTAL (m) (9.03*)	PESO/METRO (Kg/m)	KILOGRAMOS TOTALES (Kg)	SOLES/KILOGRAMO	PROMEDIO (Soles/Kg)	
4,198.95	0.222	932.17	2.928177347	3.009	
27,776.28	0.56	15,554.72	3.005853504		
17,879.40	0.994	17,772.12	2.996940669		
16,109.52	1.552	25,001.98	3.01828955		
1,426.74	2.235	3,188.76	3.096811275		
0.00	3.973	0.00	0		

Nota: El año de ejecución de las estructuras según datos proporcionados fue en octubre del año 2020 – enero del año 2021.



- Costo promedio por kilogramo de acero – Proyecto 3

Tabla 27

Costo promedio por kilogramo de acero – Proyecto 3

PROYECTO - 3

			a	b
Marca de Acero	Descripción	Unidad	Metrado	Parcial (S/.)
Aceros Arequipa	Acero ASTM A615 - G60 - Ø 1/4" O 6MM	VARILLA	525	3,307.50
Aceros Arequipa	Acero ASTM A615 - G60 - Ø 3/8"	VARILLA	1,915	31,789.00
Aceros Arequipa	Acero ASTM A615 - G60 - Ø 1/2"	VARILLA	1,655	46,174.50
Aceros Arequipa	Acero ASTM A615 - G60 - Ø 5/8"	VARILLA	870	38,802.00
Aceros Arequipa	Acero ASTM A615 - G60 - Ø 3/4"	VARILLA	286	18,590.00
Aceros Arequipa	Acero ASTM A615 - G60 - Ø 1"	VARILLA	0	0.00
ax9.03 = c	d	cx d = e	b/e	
LONG. TOTAL (m) (9.03*)	PESO/METRO (Kg/m)	KILOGRAMOS TOTALES (Kg)	SOLES/KILOGRAMO	PROMEDIO (Soles/Kg)
4,740.75	0.222	1,052.45	3.142677561	
17,292.45	0.56	9,683.77	3.282708432	
14,944.65	0.994	14,854.98	3.108351103	
7,856.10	1.552	12,192.67	3.182404585	
2,582.58	2.235	5,772.07	3.220683726	
0.00	3.973	0.00	0	3.187

Nota: El año de ejecución de las estructuras según datos proporcionados fue en marzo – junio del año 2021.

Con estos datos se procede a dar resultado a los objetivos específicos de la investigación.



4.3. Resultados respecto a los objetivos específicos

4.3.1. Variación porcentual de kilogramos totales de acero entre un metrado considerando dobleces de las piezas y sin considerar

- Resultados de objetivo específico 1 para el Proyecto-1:

Tabla 28

Resultados de objetivo específico 1 para el Proyecto-1:

PROYECTO - 1

	a	b	axb
Diámetros de acero sin cosiderar variacion por doblez	Longitud Neta total Utilizada (m)	Peso/metro (Kg/m)	Kilogramos totales (Kg)
1/4" o 6mm	3,622.071	0.222	804.10
3/8"	19,129.737	0.560	10,712.65
1/2"	9,134.440	0.994	9,079.63
5/8"	2,097.706	1.552	3,255.64
3/4"	7,541.602	2.235	16,855.48
1"	0.000	3.973	0.00

	c	b	cxb
Diámetros de acero considerando variacion por doblez	Longitud Neta total Utilizada (m)	Peso/metro (Kg/m)	Kilogramos totales (Kg)
1/4" o 6mm	3,622.071	0.222	804.10
3/8"	18,434.025	0.560	10,323.05
1/2"	9,108.137	0.994	9,053.49
5/8"	2,093.342	1.552	3,248.87
3/4"	7,491.769	2.235	16,744.10
1"	0.000	3.973	0.00

<i>Kilogramos totales de acero sin cosiderar variación por doblez</i>	<i>TOTAL (Kg)</i>	40,707.51
<i>Kilogramos totales de acero considerando variación por doblez</i>	<i>TOTAL (Kg)</i>	40,173.61
<i>Diferencia</i>	<i>(Kg)</i>	533.89
<i>Porcentaje de ahorro por consideración de doblez</i>	<i>(%)</i>	1.31%
<i>Monto Promedio de ahorro (3.822 soles/Kg)</i>	<i>(soles)</i>	S/ 2,040.54

La variación porcentual en kilogramos totales de acero entre un metrado considerando dobleces de las piezas y sin considerar, para el proyecto-1, es de 1.31%, y representa un monto de S/ 2,040.54 (Soles).



- **Resultados de objetivo específico 1 para el Proyecto-2:**

Tabla 29

Resultados de objetivo específico 1 para el Proyecto-2

PROYECTO - 2

	a	b	axb
Diámetros de acero sin cosiderar variacion por doblez	Longitud Neta total Utilizada (m)	Peso/metro (Kg/m)	Kilogramos totales (Kg)
1/4" o 6mm	3,245.154	0.222	720.42
3/8"	26,903.006	0.560	15,065.68
1/2"	16,084.530	0.994	15,988.02
5/8"	14,059.958	1.552	21,821.05
3/4"	1,034.175	2.235	2,311.38
1"	0.000	3.973	0.00

	c	b	cxb
Diámetros de acero considerando variacion por doblez	Longitud Neta total Utilizada (m)	Peso/metro (Kg/m)	Kilogramos totales (Kg)
1/4" o 6mm	3,245.154	0.222	720.42
3/8"	25,919.617	0.560	14,514.99
1/2"	15,984.401	0.994	15,888.49
5/8"	14,019.981	1.552	21,759.01
3/4"	1,029.381	2.235	2,300.67
1"	0.000	3.973	0.00

<i>Kilogramos totales de acero sin cosiderar variación por doblez</i>	TOTAL (Kg)	55,906.57
<i>Kilogramos totales de acero considerando variación por doblez</i>	TOTAL (Kg)	55,183.58
<i>Diferencia</i>	(Kg)	722.98
Porcentaje de ahorro por consideración de doblez	(%)	1.29%
<i>Monto Promedio de ahorro (3.009 soles/Kg)</i>	(soles)	S/ 2,175.46

La variación porcentual en kilogramos totales de acero entre un metrado considerando dobleces de las piezas y sin considerar, para el proyecto-2, es de 1.29%, y representa un monto de S/2,175.46 (Soles).



- Resultados de objetivo específico 1 para el Proyecto-3:

Tabla 30

Resultados de objetivo específico 1 para el Proyecto-3

PROYECTO - 3

	a	b	axb
Diámetros de acero sin cosiderar variacion por doblez	Longitud Neta total Utilizada (m)	Peso/metro (Kg/m)	Kilogramos totales (Kg)
1/4" o 6mm	3,119.983	0.222	692.64
3/8"	16,708.505	0.560	9,356.76
1/2"	13,629.480	0.994	13,547.70
5/8"	6,796.094	1.552	10,547.54
3/4"	2,080.932	2.235	4,650.88
1"	0.000	3.973	0.00

	c	b	cxb
Diámetros de acero considerando variacion por doblez	Longitud Neta total Utilizada (m)	Peso/metro (Kg/m)	Kilogramos totales (Kg)
1/4" o 6mm	3,119.983	0.222	692.64
3/8"	16,077.770	0.560	9,003.55
1/2"	13,524.384	0.994	13,443.24
5/8"	6,771.138	1.552	10,508.81
3/4"	2,068.579	2.235	4,623.27
1"	0.000	3.973	0.00

<i>Kilogramos totales de acero sin cosiderar variación por doblez</i>	<i>TOTAL (Kg)</i>	38,795.52
<i>Kilogramos totales de acero considerando variación por doblez</i>	<i>TOTAL (Kg)</i>	38,271.51
<i>Diferencia</i>	<i>(Kg)</i>	524.02
<i>Porcentaje de ahorro por consideración de doblez</i>	<i>(%)</i>	1.35%
<i>Monto Promedio de ahorro (3.187 soles/Kg)</i>	<i>(soles)</i>	S/ 1,670.04

La variación porcentual en kilogramos totales de acero entre un metrado considerando dobleces de las piezas y sin considerar, para el proyecto-3, es de 1.35%, y representa un monto de S/1,670.04 (Soles).



4.3.2. *Porcentaje de kilogramos totales de acero empleados en el proceso de corte para habilitado de acero*

4.3.2.1. **Promedio de longitud consumida por corte en varilla.**

El procedimiento para el tratamiento de datos, obtenidos de la recolección explicada en el capítulo 4.1, índice 4.1.2, es hallar la longitud promedio de consumo de acero de la totalidad de los elementos de la muestra.

La presente investigación usa el promedio de las medidas, puesto que se midieron las longitudes de consumo de cortes realizados en varillas de diferentes diámetros.

Con el conjunto de datos tipeados y procesados en la hoja de cálculo Microsoft Excel se obtiene los siguientes resultados para el promedio de longitud consumida por corte en varilla sin diferenciar, el diámetro ni la marca.

Se calcula la longitud promedio real de varilla con la siguiente formula:

Fórmula 3

Media aritmética o promedio

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Donde para la presente investigación:

- Numerador es la suma de todas las longitudes de varilla real medidas in-situ (anexos apéndice D).
- Denominador es la cantidad de datos recolectados (capítulo 3.5 – “Muestra”).

$$\text{Longitud Promedio de acero consumido en corte (m)} = \frac{1.133}{378}$$

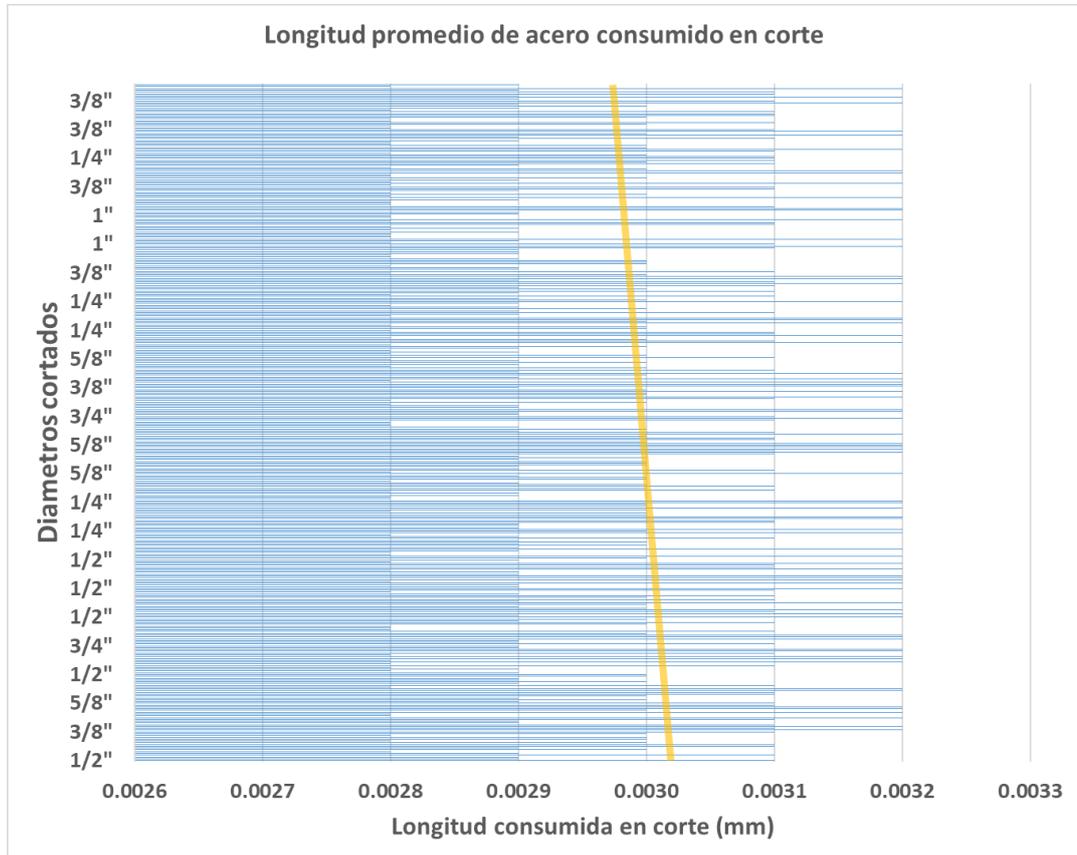
$$\text{Longitud Promedio de acero consumido en corte (m)} = 0.00299 \text{ m}$$

$$\text{Longitud Promedio de acero consumido en corte (m)} \approx \mathbf{0.003 \text{ m}}$$



Figura 117

Espesor promedio de corte real con disco de 2.4mm.



Fuente: *Extraído de los datos recolectados del apéndice D.*

La longitud promedio de acero consumido en corte que se usa para la presente investigación es de 0.003 m.



- **Resultados de objetivo específico 2 para el Proyecto-1:**

En tabla de resultados se detalla la cantidad de cortes que se realizó por diámetros, el porcentaje que representa cada uno y los kilogramos totales de acero que se emplearon para ejecutar los mismos.

Para hallar el costo promedio empleado en corte, se hizo uso del costo unitario por kilogramo de acero explicado en el capítulo 4.2.

Tabla 31

Resultados de objetivo específico 2 para el Proyecto-1.

PROYECTO - 1

	a	ax0.003 = b	c	bxc	
Diámetros Utilizados	Longitud Neta total Utilizada (m)	Cant. De cortes totales (Und)	Longitud consumida (m) (e=0.003m)	Peso/metro (Kg/m)	Kilogramos totales (Kg)
1/4" o 6mm	3,622.07	535	1.605	0.222	0.36
3/8"	18,434.03	12,497	37.491	0.560	20.99
1/2"	9,108.14	2,603	7.809	0.994	7.76
5/8"	2,093.34	704	2.112	1.552	3.28
3/4"	7,491.77	1,514	4.542	2.235	10.15
1"	0.00	0	0.000	3.973	0.00

Porcentaje consumido en corte - 1/4" o 6mm (%) 0.044%

Porcentaje consumido en corte - 3/8" (%) 0.203%

Porcentaje consumido en corte - 1/2" (%) 0.086%

Porcentaje consumido en corte - 5/8" (%) 0.101%

Porcentaje consumido en corte - 3/4" (%) 0.061%

Kilogramos totales de acero empleados en el proceso de corte **TOTAL (Kg)** **42.54**

Kilogramos totales de acero **TOTAL (Kg)** **40,173.61**

Porcentaje de acero empleado en corte (%) **0.106%**

Costo Promedio empleado en corte (3.822 soles/Kg) (soles) S/ 162.60

El porcentaje de kilogramos totales de acero empleados en el proceso de corte para habilitado de acero, para el proyecto-1, es de 0.106% y representa un monto de S/162.60 (Soles).



• Resultados de objetivo específico 2 para el Proyecto-2:

Tabla 32

Resultados de objetivo específico 2 para el Proyecto-2.

PROYECTO - 2

	a	ax0.003 = b	c	bxc	
Diámetros Utilizados	Longitud Neta total Utilizada (m)	Cant. De cortes totales (Und)	Longitud consumida (m) (e=0.003m)	Peso/metro (Kg/m)	Kilogramos totales (Kg)
1/4" o 6mm	3,245.25	743	2.229	0.222	0.49
3/8"	25,919.62	18,672	56.016	0.560	31.37
1/2"	15,984.40	5,254	15.762	0.994	15.67
5/8"	14,019.98	2,642	7.926	1.552	12.30
3/4"	1,029.38	159	0.477	2.235	1.07
1"	0.00	0	0.000	3.973	0.00

Porcentaje consumido en corte - 1/4" o 6mm (%) 0.069%

Porcentaje consumido en corte - 3/8" (%) 0.216%

Porcentaje consumido en corte - 1/2" (%) 0.099%

Porcentaje consumido en corte - 5/8" (%) 0.057%

Porcentaje consumido en corte - 3/4" (%) 0.046%

Kilogramos totales de acero empleados en el proceso de corte **TOTAL (Kg) 60.90**

Kilogramos totales de acero **TOTAL (Kg) 55,183.60**

Porcentaje de acero empleado en corte (%) 0.110%

Costo Promedio empleado en corte (3.009 soles/Kg) (soles) S/ 183.24

El porcentaje de kilogramos totales de acero empleados en el proceso de corte para habilitado de acero, para el proyecto-2, es de 0.110% y representa un monto de S/183.24 (Soles).



• **Resultados de objetivo específico 2 para el Proyecto-3:**

Tabla 33

Resultados de objetivo específico 2 para el Proyecto-3.

PROYECTO - 3

	a	ax0.003 = b	c	bxc	
Diámetros Utilizados	Longitud Neta total Utilizada (m)	Cant. De cortes totales (Und)	Longitud consumida (m) (e=0.003m)	Peso/metro (Kg/m)	Kilogramos totales (Kg)
1/4" o 6mm	3,119.98	470	1.410	0.222	0.31
3/8"	16,077.77	11,549	34.647	0.560	19.40
1/2"	13,524.38	3,797	11.391	0.994	11.32
5/8"	6,771.14	886	2.658	1.552	4.13
3/4"	2,068.58	315	0.945	2.235	2.11
1"	0.00	0	0.000	3.973	0.00

Porcentaje consumido en corte - 1/4" o 6mm (%) 0.045%

Porcentaje consumido en corte - 3/8" (%) 0.215%

Porcentaje consumido en corte - 1/2" (%) 0.084%

Porcentaje consumido en corte - 5/8" (%) 0.039%

Porcentaje consumido en corte - 3/4" (%) 0.046%

Kilogramos totales de acero empleados en el proceso de corte **TOTAL (Kg)** **37.28**

Kilogramos totales de acero **TOTAL (Kg)** **38,271.51**

Porcentaje de acero empleado en corte (%) **0.097%**

Costo Promedio empleado en corte (3.187 soles/Kg) (soles) S/ 118.80

El porcentaje de kilogramos totales de acero empleados en el proceso de corte para habilitado de acero, para el proyecto-3, es de 0.097% y representa un monto de S/118.80 (Soles).



4.3.3. Variación porcentual de kilogramos totales de acero entre una optimización considerando la longitud real y teórica de varilla

4.3.3.1. Promedio de longitud de varilla real.

El procedimiento para el tratamiento de datos, obtenidos de la recolección explicada en el capítulo 4.1, índice 4.1.1, es hallar el promedio la totalidad de las longitudes recolectadas de los elementos de la muestra.

La presente investigación usa el promedio de las medidas, puesto que se midieron varillas de diferentes diámetros y en el proceso se pudo concluir que dependiendo a la marca y al diámetro de la varilla la longitud total varia; es decir que las varillas de una marca en un diámetro en específico tienen un promedio distinto a un mismo diámetro en otra marca.

Con el conjunto de datos tipeadas y procesados en la hoja de cálculo Microsoft Excel se obtiene los siguientes resultados para el promedio de longitud real de varilla sin diferenciar, el diámetro ni la marca.

Se calcula la longitud promedio real de varilla con la siguiente fórmula 3:

Donde para la presente investigación:

- Numerador es la suma de todas las longitudes de varilla real medidas in-situ (anexos apéndice C).
- Denominador es la cantidad de datos recolectados (capítulo 3.5 – “Muestra”).

$$\text{Longitud Promedio real de Varilla (m)} = \frac{3268.695}{362}$$

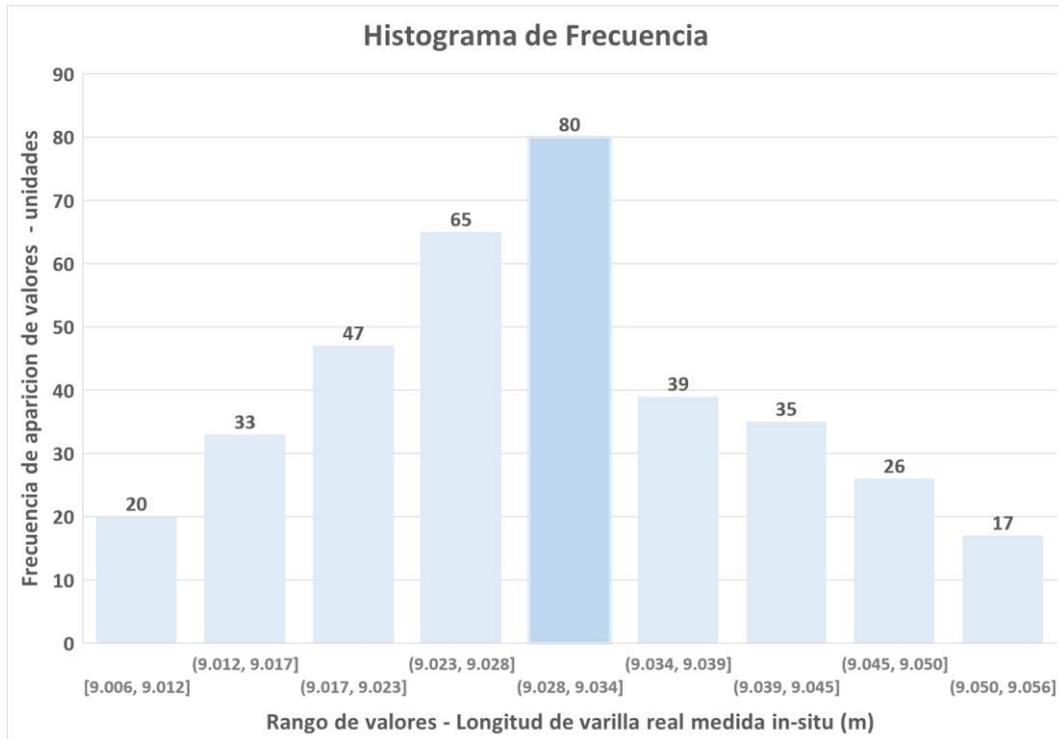
$$\text{Longitud Promedio real de Varilla (m)} = 9.0295 \text{ m}$$

$$\text{Longitud Promedio real de Varilla (m)} \approx \mathbf{9.030 \text{ m}}$$



Figura 118

Frecuencia de Longitudes reales de varilla sin distinción de diámetro.



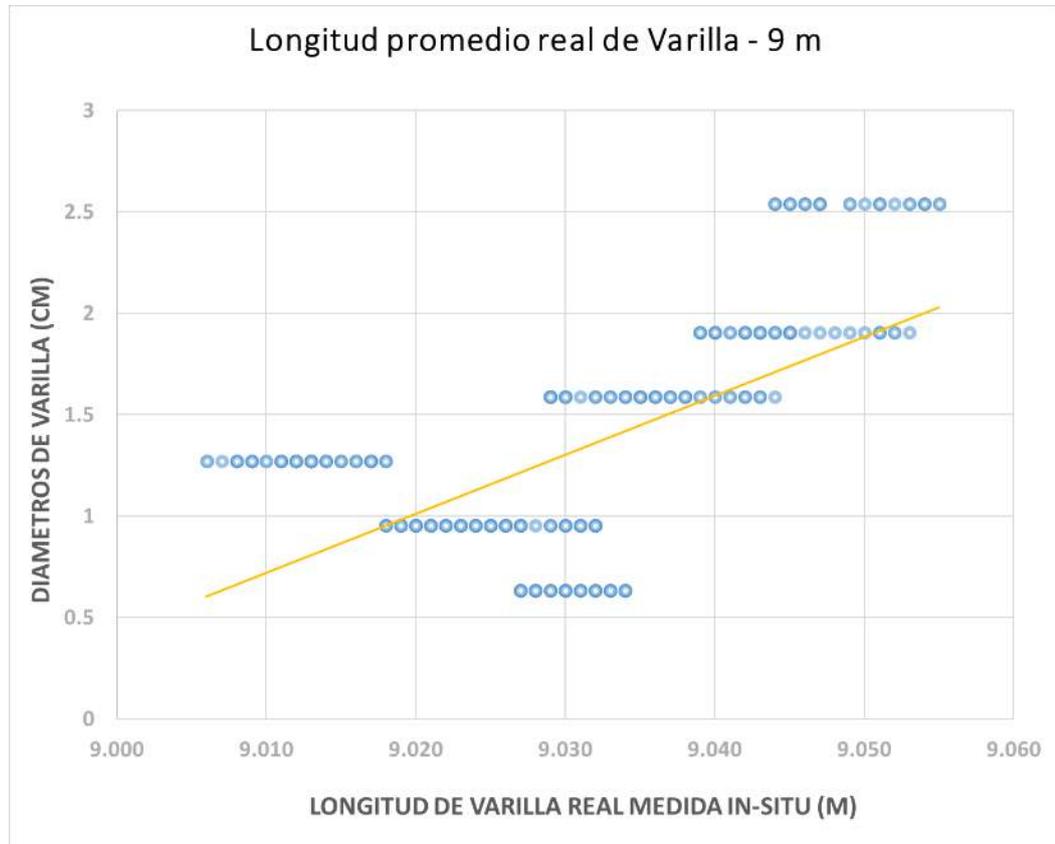
En el histograma de frecuencia se resalta que la mayor cantidad de apariciones está en el rango de 9.028m a 9.034m; lo anterior respalda el resultado hallado como promedio de la totalidad de datos.

En el siguiente grafico se observa la dispersión de datos ordenados por diámetros en centímetros y longitudes reales de varilla medidas en metros.



Figura 119

Frecuencia de Longitudes reales de varilla agrupado por diámetros.



Se observa que el promedio de valor máximo es 9.05 m y el promedio de valor mínimo es 9.01 m teniendo un rango de 0.04 m.

Los diámetros de 1" y 3/4" están por encima del promedio calculado, los diámetros de 1/4", 3/8" y 5/8" son más cercanos al promedio y el diámetro de 1/2" tiene valores menores al promedio.

- **Resultados de objetivo específico 3 para el Proyecto-1:**

En tabla de resultados se detalla la cantidad de varillas optimizadas en la longitud comercial de nueve metros, la cantidad de varillas optimizadas en la longitud promedio real de varilla 9.03 m y la diferencia en varillas de estos procedimientos.



Tabla 34

Resultados de objetivo específico 3 para el Proyecto-1.

PROYECTO - 1

	a	b	axb
Diámetros	Optimización en longitud comercial teórica (9.00 m) - (Varilla)	Optimización en longitud promedio real (9.03 m) - (Varilla)	Diferencia (Varilla)
1/4" o 6mm	415	403	12
3/8"	2,061	2,055	6
1/2"	1,029	1,017	12
5/8"	235	235	0
3/4"	863	863	0
1"	0	0	0
	(axb) x 9.03 = c	d	cx d
Cálculos por Diámetros	Long. Total (m) (9.03*)	Peso/metro (Kg/m)	Kilogramos totales (Kg)
1/4" o 6mm	108.360	0.222	24.06
3/8"	54.180	0.560	30.34
1/2"	108.360	0.994	107.71
5/8"	0.000	1.552	0.00
3/4"	0.000	2.235	0.00
1"	0.000	3.973	0.00

<i>Unidades totales de varilla por optimización en longitud comercial teórica (9.00 m)</i>	TOTAL (Varilla)	4,603
<i>Unidades totales de varilla por optimización en longitud promedio real (9.03 m)</i>	TOTAL (Varilla)	4,573
<i>Diferencia</i>	(Varilla)	30
<i>Diferencia en Kilogramos</i>	(Kg)	162.11
<i>Kilogramos totales brutos de acero empleados en optimización con longitud comercial teórica</i>	(Kg)	41,063.77
Porcentaje de ahorro por optimización en longitud promedio real de varilla	(%)	0.395%
<i>Monto Promedio de ahorro (3.822 soles/Kg)</i>	(soles)	S/ 619.57

La variación porcentual de kilogramos totales de acero entre una optimización utilizando la longitud comercial de varilla y la longitud promedio real, para el proyecto-1, es de 0.395% y representa un monto de S/619.57 (Soles).



- **Resultados de objetivo específico 3 para el Proyecto-2:**

Tabla 35

Resultados de objetivo específico 3 para el Proyecto-2.

PROYECTO - 2

	a	b	axb
Diámetros	Optimización en longitud comercial teórica (9.00 m) - (Varilla)	Optimización en longitud promedio real (9.03 m) - (Varilla)	Diferencia (Varilla)
1/4" o 6mm	411	411	0
3/8"	2,889	2,879	10
1/2"	1,824	1,806	18
5/8"	1,659	1,657	2
3/4"	119	119	0
1"	0	0	0
	(axb) x 9.03 = c	d	cx d
Cálculos por Diámetros	Long. Total (m) (9.03*)	Peso/metro (Kg/m)	Kilogramos totales (Kg)
1/4" o 6mm	0.000	0.222	0.00
3/8"	90.300	0.560	50.57
1/2"	162.540	0.994	161.56
5/8"	18.060	1.552	28.03
3/4"	0.000	2.235	0.00
1"	0.000	3.973	0.00
<i>Unidades totales de varilla por optimización en longitud comercial teórica (9.00 m)</i>		TOTAL (Varilla)	6,902
<i>Unidades totales de varilla por optimización en longitud promedio real (9.03 m)</i>		TOTAL (Varilla)	6,872
<i>Diferencia</i>		(Varilla)	30
<i>Diferencia en Kilogramos</i>		(Kg)	240.16
<i>Kilogramos totales brutos de acero empleados en optimización con longitud comercial teórica</i>		(Kg)	57,265.84
Porcentaje de ahorro por optimización en longitud promedio real de varilla		(%)	0.419%
<i>Monto Promedio de ahorro (3.009 soles/Kg)</i>		(soles)	S/ 722.65

La variación porcentual de kilogramos totales de acero entre una optimización utilizando la longitud comercial de varilla y la longitud promedio real, para el proyecto-2, es de 0.419% y representa un monto de S/722.65 (Soles).



- Resultados de objetivo específico 3 para el Proyecto-3:

Tabla 36

Resultados de objetivo específico 3 para el Proyecto-2.

PROYECTO - 3

	a	b	axb
Diámetros	Optimización en longitud comercial teórica (9.00 m) - (Varilla)	Optimización en longitud promedio real (9.03 m) - (Varilla)	Diferencia (Varilla)
1/4" o 6mm	470	470	0
3/8"	1,796	1,788	8
1/2"	1,516	1,511	5
5/8"	763	763	0
3/4"	237	236	1
1"	0	0	0
	(axb) x 9.03 = c	d	cx d
Cálculos por Diámetros	Long. Total (m) (9.03*)	Peso/metro (Kg/m)	Kilogramos totales (Kg)
1/4" o 6mm	0.000	0.222	0.00
3/8"	72.240	0.560	40.45
1/2"	45.150	0.994	44.88
5/8"	0.000	1.552	0.00
3/4"	9.030	2.235	20.18
1"	0.000	3.973	0.00
<i>Unidades totales de varilla por optimización en longitud comercial teórica (9.00 m)</i>		TOTAL (Varilla)	4,782
<i>Unidades totales de varilla por optimización en longitud promedio real (9.03 m)</i>		TOTAL (Varilla)	4,768
<i>Diferencia</i>		(Varilla)	14
<i>Diferencia en Kilogramos</i>		(Kg)	105.52
<i>Kilogramos totales brutos de acero empleados en optimización con longitud comercial teórica</i>		(Kg)	38,977.88
Porcentaje de ahorro por optimización en longitud promedio real de varilla		(%)	0.271%
<i>Monto Promedio de ahorro (3.187 soles/Kg)</i>		(soles)	S/ 336.28

La variación porcentual de kilogramos totales de acero entre una optimización utilizando la longitud comercial de varilla y la longitud promedio real, para el proyecto-3, es de 0.271% y representa un monto de S/336.28 (Soles).



4.4. Resultados respecto al objetivo General

En la tabla de resultados se detalla la cantidad de varillas que se usaron en obra, información proporcionada por proyecto real liquidado, versus la cantidad de varillas de acero obtenidas del modelado BIM con Revit y CutLogic 1D considerando variaciones implícitas en el habilitado.

- **Resultados del objetivo general para el Proyecto-1:**

Tabla 37

Resultados del objetivo general para el Proyecto-1.

PROYECTO - 1

Información proporcionada

Descripción	Unidad	a	ax9.03 = b	c	bxc	d	axd
		Metrado	Long. Total (m) (9.03*)	Peso/metro (Kg/m)	Kilogramos (Kg)	Precio (Soles / Varilla)	Parcial (S/.)
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 1/4" O 6MM	VARILLA	449	4,054.47	0.222	900.09	S/7.74	S/3,475.26
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 3/8"	VARILLA	2,203	19,893.09	0.560	11,140.13	S/19.18	S/42,253.54
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 1/2"	VARILLA	1,115	10,068.45	0.994	10,008.04	S/34.20	S/38,133.00
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 5/8"	VARILLA	293	2,645.79	1.552	4,106.27	S/52.96	S/15,517.28
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 3/4"	VARILLA	943	8,515.29	2.235	19,031.67	S/78.09	S/73,638.87
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 1"	VARILLA	0	0.00	3.973	0.00	S/0.00	S/0.00
TOTAL			45,177.09		45,186.20		S/173,017.95

Optimización obtenida del modelado BIM con Revit y CutLogic 1D considerando variaciones implícitas en el habilitado.

Descripción	Unidad	a	ax9.03 = b	c	bxc	d	axd
		Metrado	Long. Total (m) (9.03*)	Peso/metro (Kg/m)	Kilogramos (Kg)	Precio (Soles / Varilla)	Parcial (S/.)
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 1/4" O 6MM	VARILLA	403	3,639.09	0.222	807.88	S/7.74	S/3,119.22
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 3/8"	VARILLA	2,055	18,556.65	0.560	10,391.72	S/19.18	S/39,414.90
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 1/2"	VARILLA	1,017	9,183.51	0.994	9,128.41	S/34.20	S/34,781.40
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 5/8"	VARILLA	235	2,122.05	1.552	3,293.42	S/52.96	S/12,445.60
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 3/4"	VARILLA	863	7,792.89	2.235	17,417.11	S/78.09	S/67,391.67
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 1"	VARILLA	0	0.00	3.973	0.00	S/0.00	S/0.00
TOTAL			41,294.19		41,038.54		S/157,152.79

Diferencia de Kilogramos

4,147.66 (Kg)

Porcentaje de ahorro respecto al acero liquidado en obra

9.18% (%)

Monto Promedio de ahorro (3.822 soles/Kg)

S/15,865.16 (Soles)

La diferencia porcentual de los kilogramos totales del acero post ejecución frente al modelado BIM de acero con Revit y CutLogic considerando variaciones implícitas en el habilitado, para el Proyecto-1, es 9.18%. En kilogramos totales esta diferencia es de 4,147.66 (Kg) y representa un monto de S/15,865.16 (Soles).



• **Resultados del objetivo general para el Proyecto-2:**

Tabla 38

Resultados del objetivo general para el Proyecto-2.

PROYECTO - 2

Información proporcionada

Descripción	Unidad	a	ax9.03 = b	c	bxc	d	axd
		Metrado	Long. Total (m) (9.03*)	Peso/metro (Kg/m)	Kilogramos (Kg)	Precio (Soles / Varilla)	Parcial (S/.)
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 1/4" O 6MM	VARILLA	465	4,198.95	0.222	932.17	S/5.87	S/2,729.55
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 3/8"	VARILLA	3,076	27,776.28	0.560	15,554.72	S/15.20	S/46,755.20
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 1/2"	VARILLA	1,980	17,879.40	0.994	17,772.12	S/26.90	S/53,262.00
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 5/8"	VARILLA	1,784	16,109.52	1.552	25,001.98	S/42.30	S/75,463.20
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 3/4"	VARILLA	158	1,426.74	2.235	3,188.76	S/62.50	S/9,875.00
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 1"	VARILLA	0	0.00	3.973	0.00	S/0.00	S/0.00
TOTAL			67,390.89		62,449.75		S/188,084.95

Optimización obtenida del modelado BIM con Revit y CutLogic 1D considerando variaciones implícitas en el habilitado.

Descripción	Unidad	a	ax9.03 = b	c	bxc	d	axd
		Metrado	Long. Total (m) (9.03*)	Peso/metro (Kg/m)	Kilogramos (Kg)	Precio (Soles / Varilla)	Parcial (S/.)
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 1/4" O 6MM	VARILLA	411	3,711.33	0.222	823.92	S/5.87	S/2,412.57
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 3/8"	VARILLA	2,879	25,997.37	0.560	14,558.53	S/15.20	S/43,760.80
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 1/2"	VARILLA	1,806	16,308.18	0.994	16,210.33	S/26.90	S/48,581.40
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 5/8"	VARILLA	1,657	14,962.71	1.552	23,222.13	S/42.30	S/70,091.10
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 3/4"	VARILLA	119	1,074.57	2.235	2,401.66	S/62.50	S/7,437.50
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 1"	VARILLA	0	0.00	3.973	0.00	S/0.00	S/0.00
TOTAL			62,054.16		57,216.56		S/172,283.37

<i>Diferencia de Kilogramos</i>	5,233.18 (Kg)
Porcentaje de ahorro respecto al acero liquidado en obra	8.38% (%)
<i>Monto Promedio de ahorro (3.009 soles/Kg)</i>	S/15,801.58 (Soles)

La diferencia porcentual de los kilogramos totales del acero post ejecución frente al modelado BIM de acero con Revit y CutLogic considerando variaciones implícitas en el habilitado, para el Proyecto-2, es de 8.38%. En kilogramos totales esta diferencia es de 5,233.18 (Kg) y representa un monto de S/15,801.58 (Soles).



- **Resultados del objetivo general para el Proyecto-3:**

Tabla 39

Resultados del objetivo general para el Proyecto-3.

PROYECTO - 3

Información proporcionada

Descripción	Unidad	a	ax9.03 = b	c	bxc	d	axd
		Metrado	Long. Total (m) (9.03*)	Peso/metro (Kg/m)	Kilogramos (Kg)	Precio (Soles / Varilla)	Parcial (S/.)
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 1/4" O 6MM	VARILLA	525	4,740.75	0.222	1,052.45	S/6.30	S/3,307.50
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 3/8"	VARILLA	1,915	17,292.45	0.560	9,683.77	S/16.60	S/31,789.00
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 1/2"	VARILLA	1,655	14,944.65	0.994	14,854.98	S/27.90	S/46,174.50
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 5/8"	VARILLA	870	7,856.10	1.552	12,192.67	S/44.60	S/38,802.00
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 3/4"	VARILLA	286	2,582.58	2.235	5,772.07	S/65.00	S/18,590.00
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 1"	VARILLA	0	0.00	3.973	0.00	S/0.00	S/0.00
TOTAL			47,416.53		43,555.93		S/138,663.00

Optimizacion obtenida del modelado BIM con Revit y CutLogic 1D considerando variaciones implícitas en el habilitado.

Descripción	Unidad	a	ax9.03 = b	c	bxc	d	axd
		Metrado	Long. Total (m) (9.03*)	Peso/metro (Kg/m)	Kilogramos (Kg)	Precio (Soles / Varilla)	Parcial (S/.)
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 1/4" O 6MM	VARILLA	470	4,244.10	0.222	942.19	S/6.30	S/2,961.00
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 3/8"	VARILLA	1,788	16,145.64	0.560	9,041.56	S/16.60	S/29,680.80
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 1/2"	VARILLA	1,511	13,644.33	0.994	13,562.46	S/27.90	S/42,156.90
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 5/8"	VARILLA	763	6,889.89	1.552	10,693.11	S/44.60	S/34,029.80
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 3/4"	VARILLA	236	2,131.08	2.235	4,762.96	S/65.00	S/15,340.00
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 1"	VARILLA	0	0.00	3.973	0.00	S/0.00	S/0.00
TOTAL			43,055.04		39,002.29		S/124,168.50

Diferencia de Kilogramos 4,553.65 (Kg)
Porcentaje de ahorro respecto al acero liquidado en obra **10.45%** (%)
Monto Promedio de ahorro (3.187 soles/Kg) S/14,494.50 (Soles)

La diferencia porcentual de los kilogramos totales del acero post ejecución frente al modelado BIM de acero con Revit y CutLogic considerando variaciones implícitas en el habilitado, para el Proyecto-3, es de 10.45%. En kilogramos totales esta diferencia es de 4,553.65 (Kg) y representa un monto de S/14,494.50 (Soles).



Tabla 40

Porcentaje de ahorro de acero respecto al liquidado en obra.

Población	Porcentaje de ahorro respecto al acero liquidado en obra	Monto Promedio de ahorro (soles)	Kilogramos totales de acero empleados según BIM (Tn)
PROYECTO 1	9.18%	15,865.16	41.04
PROYECTO 2	8.38%	15,801.58	57.22
PROYECTO 3	10.45%	14,494.50	39.00
PROMEDIO PONDERADO	9.21%	15,449.18	

Fuente: *Elaboración propia.*

Figura 120

Porcentaje promedio ponderado de ahorro de acero respecto al liquidado en obra.

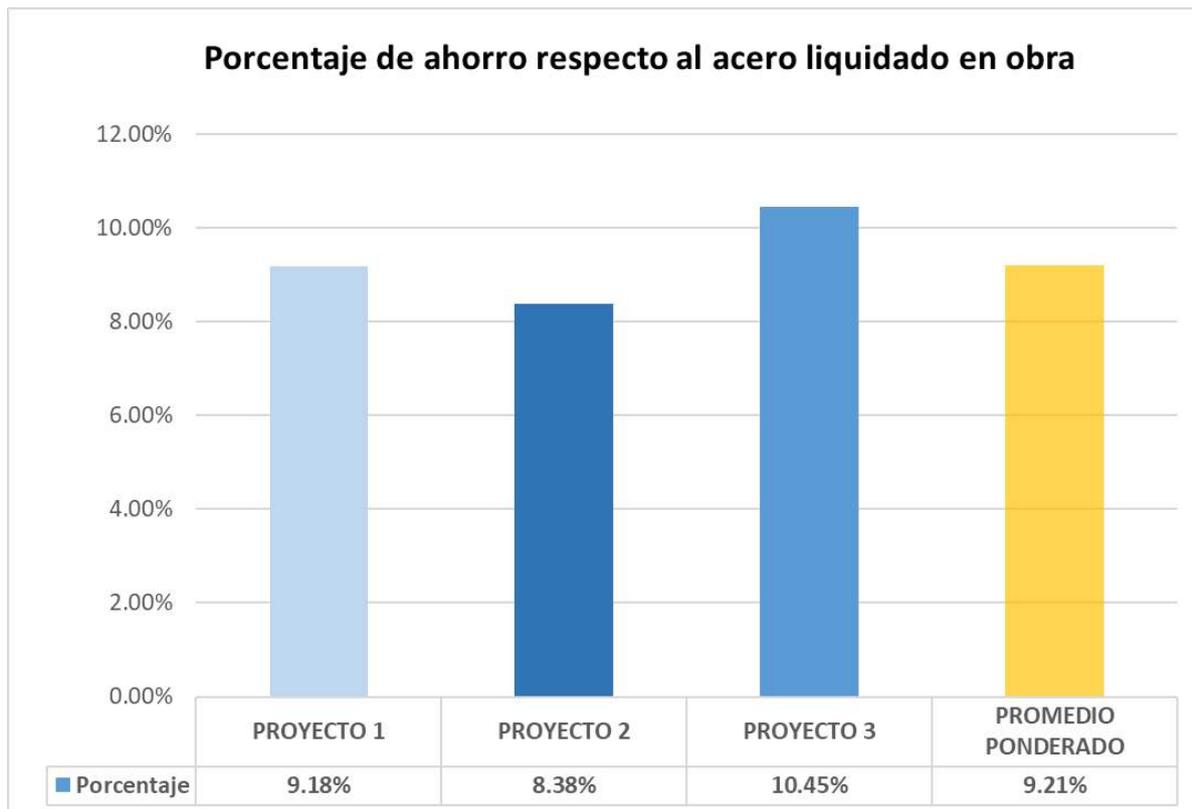
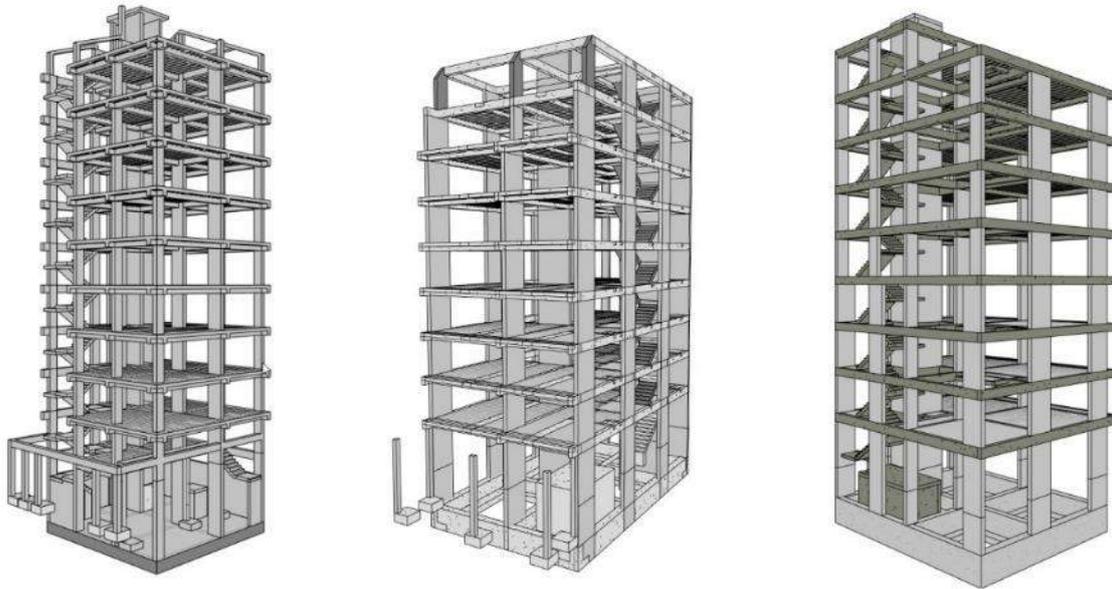




Figura 121

Resumen de resultados del objetivo general.



Comparación del acero post ejecución frente al modelado BIM de acero con Revit y Cut Logic considerando variaciones implícitas en el habilitado

PROYECTO 1	PROYECTO 2	PROYECTO 3
Post Ejecución 45.19 Tn	Post Ejecución 62.45 Tn	Post Ejecución 43.56 Tn
Metrado BIM 41.04 Tn	Metrado BIM 57.22 Tn	Metrado BIM 39.00 Tn
<i>Diferencia</i> 9.18 %	<i>Diferencia</i> 8.38 %	<i>Diferencia</i> 10.45 %



4.5. Resultados relevantes para la comparación literaria.

El porcentaje de ahorro, por consideración de doblez, promedio ponderado en los kilogramos totales de acero empleados según el presupuesto BIM se muestra en la tabla 41. Este resultado refleja el porcentaje de ahorro aproximado de presupuestar el acero de las partidas de concreto armado de todo el proyecto considerando el doblez en las piezas.

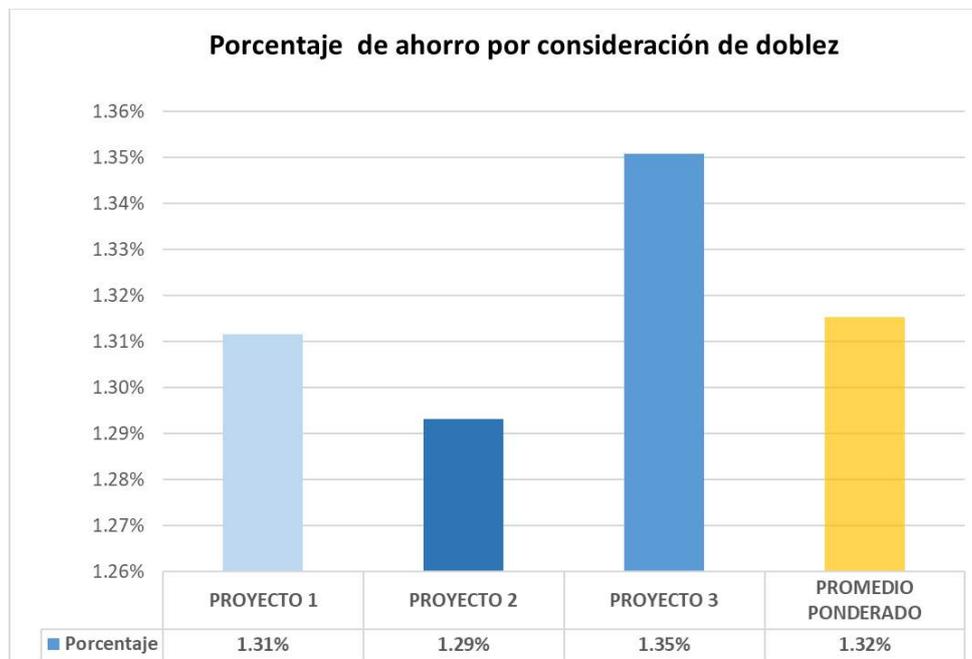
Tabla 41

Porcentaje de ahorro de acero por consideración de doblez.

Población	Porcentaje de ahorro por consideración de doblez	Monto Promedio de ahorro (soles)	Kilogramos totales de acero empleados según BIM (Tn)
PROYECTO 1	1.31%	2,040.54	41.04
PROYECTO 2	1.29%	2,175.46	57.22
PROYECTO 3	1.35%	1,670.04	39.00
PROMEDIO PONDERADO	1.32%	1,991.51	

Figura 122

Porcentaje promedio ponderado de ahorro de acero por consideración de doblez.





El porcentaje, de acero empleado en corte, promedio ponderado en los kilogramos totales de acero empleados según el presupuesto BIM se muestra en la tabla 42. Este resultado refleja el porcentaje de acero que se emplea en corte para la habilitación de todas las piezas necesarias en las partidas de concreto armado del proyecto considerando el uso de un disco de corte de 2.4mm.

Tabla 42

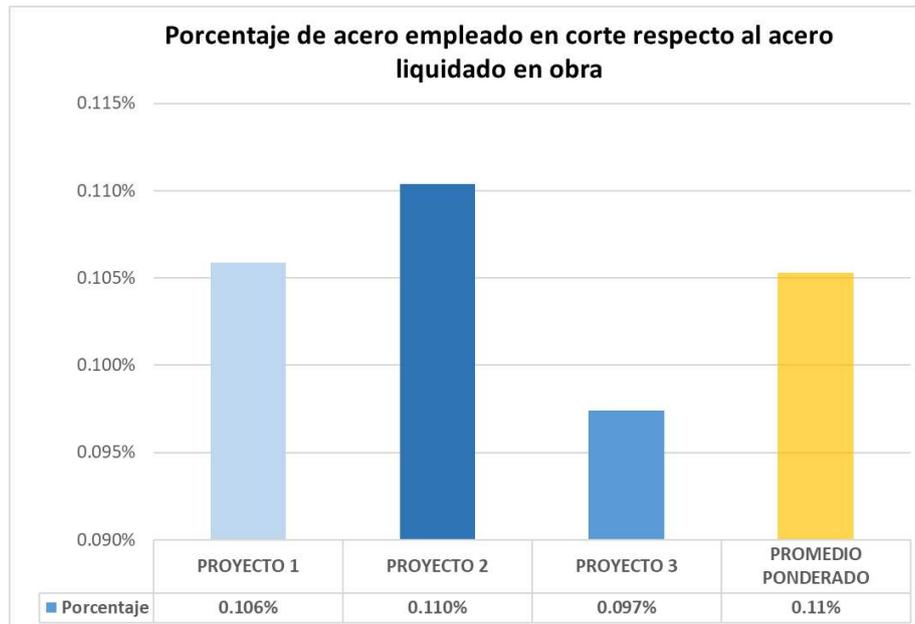
Porcentaje de acero empleado en corte para habilitación de piezas.

Población	Porcentaje de acero empleado en corte	Monto Promedio de ahorro (soles)	Kilogramos totales de acero empleados según BIM (Tn)
PROYECTO 1	0.106%	162.598	41.04
PROYECTO 2	0.110%	183.244	57.22
PROYECTO 3	0.097%	118.796	39.00
PROMEDIO PONDERADO	0.11%	158.76	

Fuente: *Elaboración propia.*

Figura 123

Porcentaje promedio ponderado de acero empleado en corte.





El porcentaje de ahorro, por optimización en longitud real de varilla, promedio ponderado en los kilogramos totales de acero empleados según el presupuesto BIM se muestra en la tabla 43. Este resultado refleja el porcentaje de ahorro aproximado de presupuestar el acero de las partidas de concreto armado de todo el proyecto en longitudes reales de varilla.

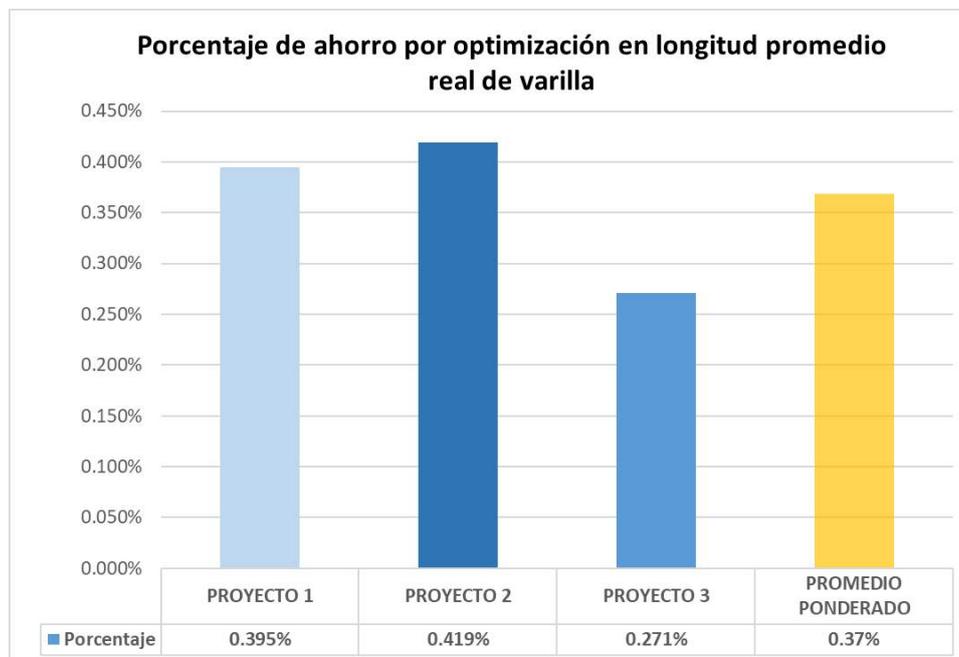
Tabla 43

Porcentaje de ahorro de acero por optimización de piezas en longitud promedio real de varilla.

Población	Porcentaje de ahorro por optimización en longitud promedio real de varilla	Monto Promedio de ahorro (soles)	Kilogramos totales de acero empleados según BIM (Tn)
PROYECTO 1	0.395%	619.571	41.04
PROYECTO 2	0.419%	722.647	57.22
PROYECTO 3	0.271%	336.278	39.00
PROMEDIO PONDERADO	0.37%	582.04	

Figura 124

Porcentaje promedio ponderado de ahorro de acero por optimización en longitud promedio real de varilla.





El porcentaje de error de un presupuesto tradicional versus BIM, ejecuta la comparación de un presupuesto hallado con planos, referencias en 2D y una hoja de cálculo; contrastándolo con un presupuesto hallado a partir de un modelado 3D que cuenta con información de cada pieza de acero del proyecto que a su vez considera los aspectos implícitos en el proceso de habilitado y los optimiza mediante iteraciones.

Tabla 44

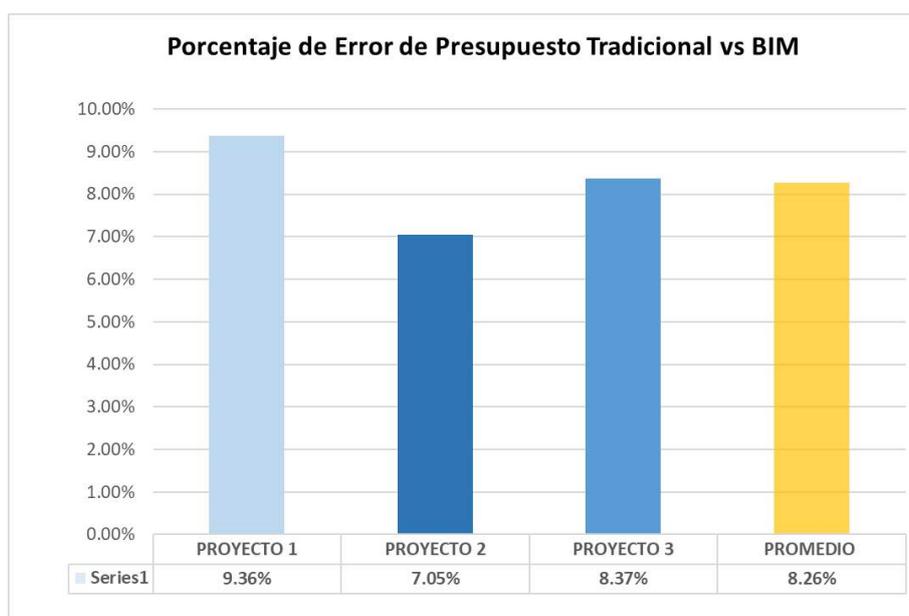
Porcentaje de error de la comparación de un presupuesto calculado de forma tradicional versus el presupuesto BIM.

Población	Kilogramos totales de acero presupuestados de forma tradicional (Tn)	Kilogramos totales de acero presupuestados con BIM (Tn)	Porcentaje de Error de Presupuesto Tradicional vs BIM
PROYECTO 1	45.28	41.04	9.36%
PROYECTO 2	53.45	57.22	7.05%
PROYECTO 3	35.99	39.00	8.37%
PROMEDIO			8.26%

Nota: La información del presupuesto calculado es obtenida de apéndice E de los anexos.

Figura 125

Porcentaje de promedio de un presupuesto calculado de forma tradicional versus el presupuesto BIM.





El porcentaje promedio de desperdicio inevitable por proceso de optimización en varillas de longitud comercial, es la cantidad de acero inutilizada en el proyecto y en la acción de habilitación del proyecto. Es la cantidad real de desperdicio, pero inevitable por ser optimizada en longitudes comerciales de varilla ofrecida en el mercado y al cual debe ajustarse las necesidades.

Tabla 45

Porcentaje promedio de desperdicio inevitable por proceso de optimización en varillas de longitud comercial.

PROYECTO - 1

a						
Descripción	Unidad	Metrado	Total de varillas requeridas	Utilización	Desp. Inevitable	Desp. Inevitable Promedio
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 1/4" O 6MM	PIEZA	808	403	99.53%	0.47%	1.19%
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 3/8"	PIEZA	12,816	2,055	99.34%	0.66%	
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 1/2"	PIEZA	2,692	1,017	99.18%	0.82%	
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 5/8"	PIEZA	705	235	98.65%	1.35%	
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 3/4"	PIEZA	1,554	863	96.14%	3.86%	
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 1"	PIEZA	0	0	0.00%	0.00%	

PROYECTO - 2

a						
Descripción	Unidad	Metrado	Total de varillas requeridas	Utilización	Desp. Inevitable	Desp. Inevitable Promedio
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 1/4" O 6MM	PIEZA	743	411	87.44%	12.56%	4.23%
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 3/8"	PIEZA	19,627	2,879	99.70%	0.30%	
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 1/2"	PIEZA	5,543	1,806	98.01%	1.99%	
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 5/8"	PIEZA	2,642	1,657	93.70%	6.30%	
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 3/4"	PIEZA	159	119	95.79%	4.21%	
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 1"	PIEZA	0	0	0.00%	0.00%	

PROYECTO - 3

a						
Descripción	Unidad	Metrado	Total de varillas requeridas	Utilización	Desp. Inevitable	Desp. Inevitable Promedio
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 1/4" O 6MM	PIEZA	499	470	73.51%	26.49%	5.14%
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 3/8"	PIEZA	11,899	1,788	99.58%	0.42%	
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 1/2"	PIEZA	3,957	1,511	99.12%	0.88%	
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 5/8"	PIEZA	1,112	763	98.65%	1.35%	
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 3/4"	PIEZA	339	236	98.28%	1.72%	
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 1"	PIEZA	0	0	0.00%	0.00%	



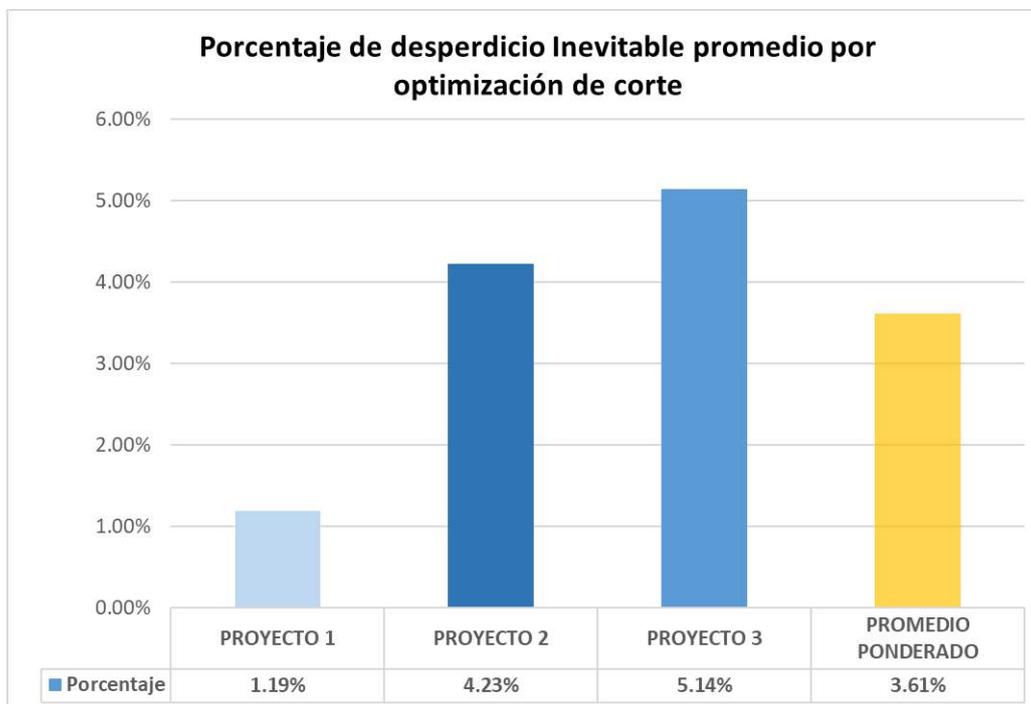
Tabla 46

Porcentaje de desperdicio inevitable por proceso de optimización promedio ponderado en el total de piezas requeridas por proyecto.

Población	Desp. Inevitable Promedio por optimización de corte	Total de piezas requeridas
PROYECTO 1	1.19%	18,575
PROYECTO 2	4.23%	28,714
PROYECTO 3	5.14%	17,806
PROMEDIO PONDERADO	3.61%	

Figura 126

Porcentaje promedio de desperdicio inevitable por proceso de optimización.





Los desperdicios inevitables al proceso de optimización en longitudes de varilla comercial, analizados de forma específica agrupándolos por diámetros, presentan el siguiente resultado:

Tabla 47

Porcentaje promedio de utilización neta de varillas de acero y desperdicio inevitable clasificado por diámetros.

PROMEDIO DE UTILIZACION NETA Y DESP. INEVITABLE POR TIPO DE DIÁMETRO

Descripción	Utilización neta promedio	Desp. Inevitable Promedio
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 1/4" O 6MM	86.83%	13.17%
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 3/8"	99.54%	0.46%
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 1/2"	98.77%	1.23%
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 5/8"	97.00%	3.00%
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 3/4"	96.74%	3.26%
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 1"	0.00%	0.00%

La siguiente comparación es el cálculo de la diferencia de la totalidad de varillas empleadas en el proyecto según lo liquidado (post ejecución) frente a la totalidad de varillas empleadas según el metrado BIM. Esta diferencia se interpreta como la cantidad de desperdicio real por diámetro que se ejecutó en cada proyecto.



Tabla 48

Porcentaje de desperdicio producidos en obra por comparación con presupuesto BIM.

PROYECTO - 1

Descripción	Unidad	Metrado Post Ejecución	Metrado con BIM	Porcentaje de desperdicio por diámetro
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 1/4" O 6MM	VARILLA	449	403	10.24%
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 3/8"	VARILLA	2203	2055	6.72%
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 1/2"	VARILLA	1115	1017	8.79%
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 5/8"	VARILLA	293	235	19.80%
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 3/4"	VARILLA	943	863	8.48%
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 1"	VARILLA	0	0	0.00%

PROYECTO - 2

Descripción	Unidad	Metrado Post Ejecución	Metrado con BIM	Porcentaje de desperdicio por diámetro
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 1/4" O 6MM	VARILLA	465	411	11.61%
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 3/8"	VARILLA	3,076	2,879	6.40%
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 1/2"	VARILLA	1,980	1,806	8.79%
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 5/8"	VARILLA	1,784	1,657	7.12%
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 3/4"	VARILLA	158	119	24.68%
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 1"	VARILLA	0	0	0.00%

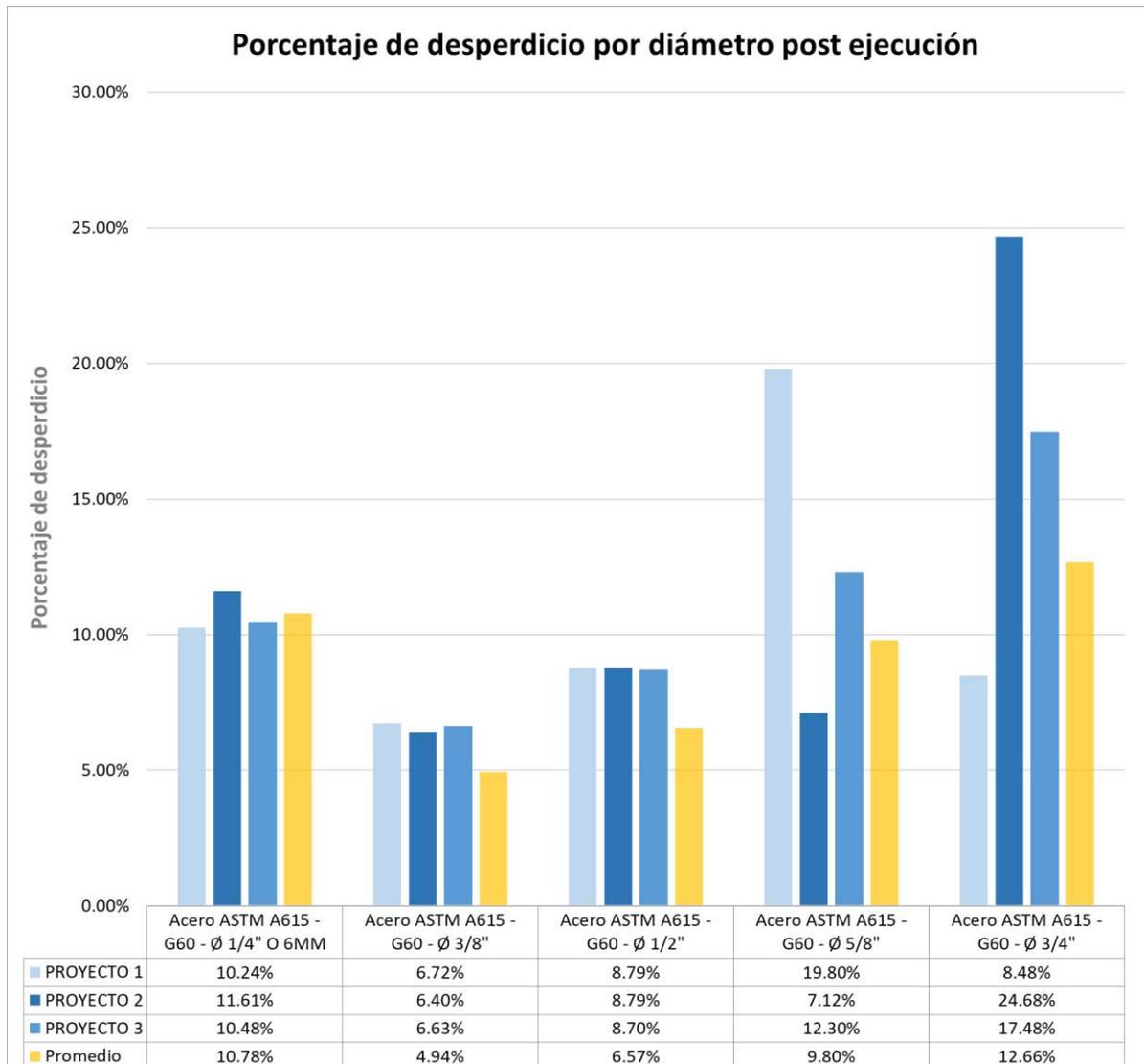
PROYECTO - 3

Descripción	Unidad	Metrado Post Ejecución	Metrado con BIM	Porcentaje de desperdicio por diámetro
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 1/4" O 6MM	VARILLA	525	470	10.48%
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 3/8"	VARILLA	1,915	1,788	6.63%
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 1/2"	VARILLA	1,655	1,511	8.70%
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 5/8"	VARILLA	870	763	12.30%
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 3/4"	VARILLA	286	236	17.48%
Acero ASTM A615 - G60 - Ø 1"	VARILLA	0	0	0.00%



Figura 127

Porcentaje de desperdicio de acero post ejecución por diámetro.



Finalmente se calcula el porcentaje de formas de armadura de acero con mayor incidencia en los proyectos analizados. En base a la totalidad de las piezas modeladas para cada proyecto se analiza la cantidad de veces que se repite la forma y su repercusión respecto a la totalidad.



Tabla 49

Porcentaje de familia de formas de armadura con mayor incidencia en los proyectos

Poncentaje de formas con mayor incidencia

Descripción de formas	Proyecto 1 (pieza)	Porcentaje de uso	Proyecto 2 (pieza)	Porcentaje de uso	Proyecto 3 (pieza)	Porcentaje de uso	Porcentaje de uso promedio
LG_01	1,503	8.09%	1,638	5.70%	1,243	6.98%	6.93%
LG_02	259	1.39%	0	0.00%	243	1.36%	0.92%
LG_03	233	1.25%	0	0.00%	4	0.02%	0.43%
LG_04	9	0.05%	0	0.00%	30	0.17%	0.07%
LG_05	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0.00%
LG_06	15	0.08%	0	0.00%	0	0.00%	0.03%
LG_07	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0.00%
LG_08	246	1.32%	160	0.56%	28	0.16%	0.68%
LG_09	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0.00%
ET_01	11,448	61.63%	15,397	53.62%	11,199	62.89%	59.38%
ET_02	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0.00%
ET_03	1,421	7.65%	4,486	15.62%	1,283	7.21%	10.16%
ET_04	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0.00%
ET_05	127	0.68%	0	0.00%	471	2.65%	1.11%
OTRAS	616	3.32%	1,905	6.63%	623	3.50%	4.48%
SIN DOBLEZ	2,698	14.52%	5,128	17.86%	2,682	15.06%	15.82%
TOTAL	18,575	100.00%	28,714	100.00%	17,806	100.00%	

Figura 128

Porcentaje de formas de armadura con mayor incidencia en los proyectos.

Poncentaje de formas con mayor incidencia

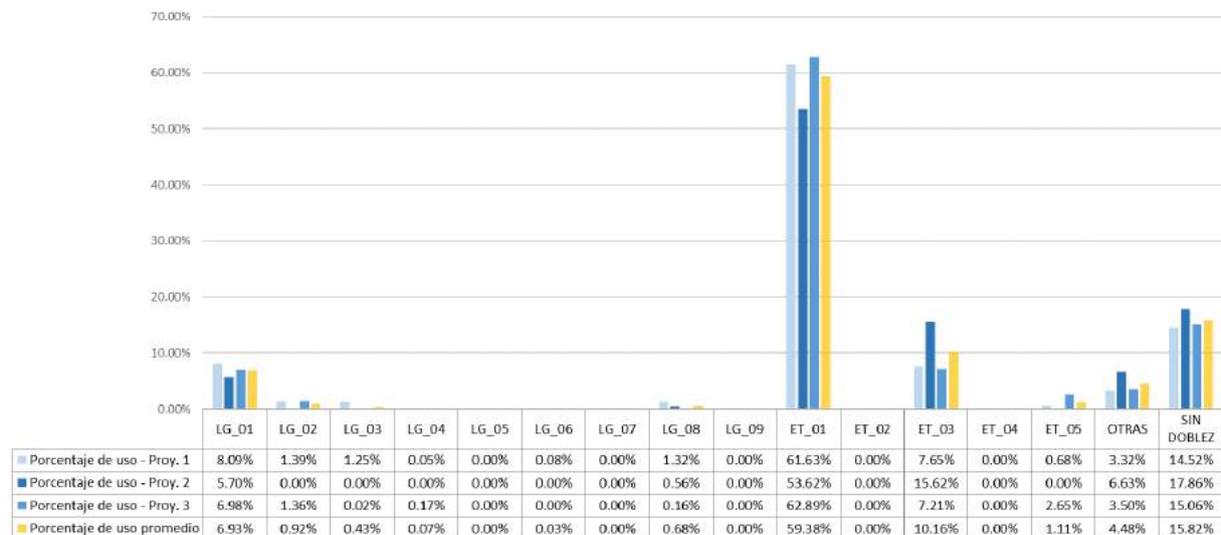
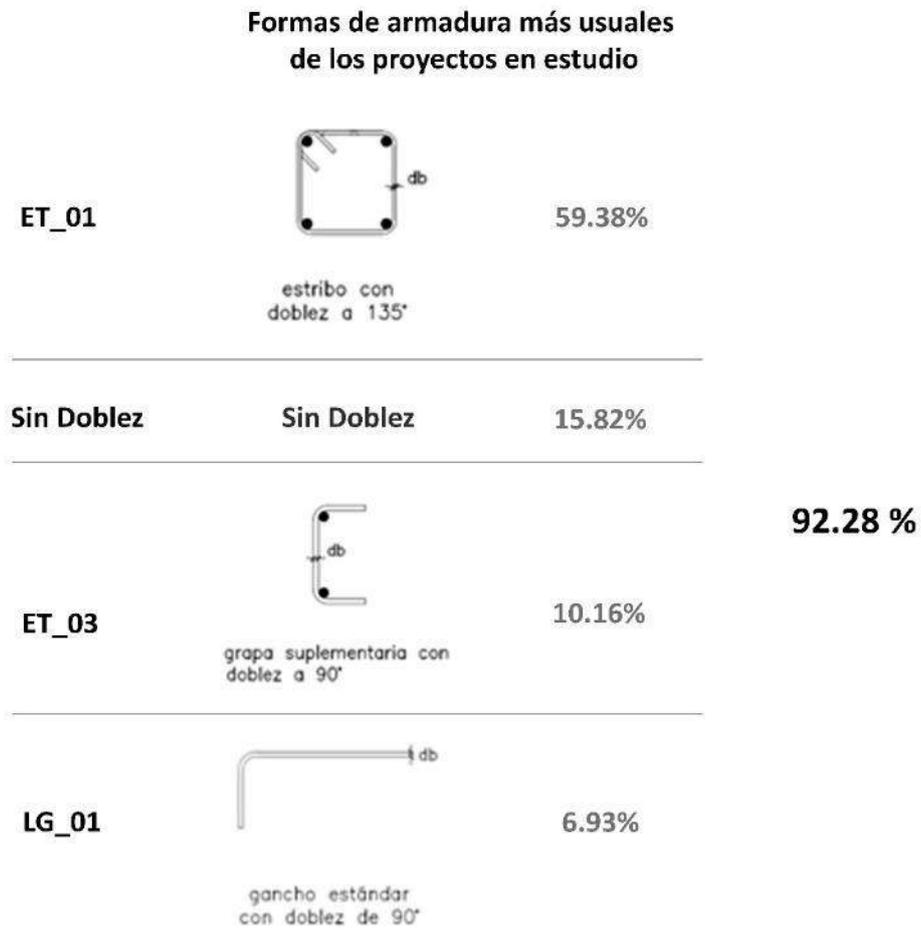




Figura 129

Formas de armadura que representan más del 90% del total utilizadas en los proyectos.



Fuente: *Elaboración propia.*



5. Capítulo V: DISCUSIÓN

5.1. Limitaciones del estudio

5.1.1. Limitaciones metodológicas

- El procedimiento se encuentra limitado en la metodología BIM.
- El modelo 3D se limita a nivel de desarrollo (LOD) 300 en el Software Revit 2020.
- El procedimiento está limitado por la metodología de Patrón de Corte Eficiente en el software CutLogic 1D con un nivel de optimización alto.

5.1.2. Limitaciones de datos

- Se limita a guardar confidencialidad de nombre o datos de la empresa constructora.
- Se limita al estudio de edificaciones residenciales de concreto armado.
- Se limita al uso de acero de construcción de nueve metros teóricos ASTM A615 – G60.
- Se limita al uso de valores de incremento y decremento hallados por el autor: Yober Atau Castro.
- Se limita al grosor promedio hallado por corte con amoladora angular y tronzadora de metal empleando disco de corte de 2.4mm de marca Dewalt.
- Se limita a la longitud promedio de varilla real hallada (9.03 m).
- Se limita al metrado de acero modelado 3D con el software Revit 2020.
- Se limita al total de kilogramos de acero liquidados de la obra post ejecución.
- Se limita el análisis de doblez de las formas de armadura definidas en el índice 4.1.4.3.

5.2. Comparación crítica con la literatura existente

Los desperdicios de aceros en las obras de edificación estudiadas, tienen el valor promedio del 9.21%, este valor difiere de lo planteado por el autor Yober Castro Atau (2010)



,quien es citado como primer antecedente, quien obtiene como resultado un 20%; respecto al autor Lucio Soibelman (2000), el valor hallado en la presente investigación está dentro del rango que se propone con valores que están dentro del 7% al 27%, coincidiendo con el autor en que aun desde el año 2000 al 2021 no se tienen buenas prácticas del uso del recurso acero en los proyectos de edificaciones. (p. 200)

Dentro del estudio de elongaciones del acero de construcción, el autor Yober Castro Atau (2010), obtuvo un resultado de reducción de acero de hasta 0.50 ton, significando un ahorro de “1,13% respecto al acero netamente calculado sin optimización”; los resultados de esta investigación obtuvieron una reducción de hasta 0.72 ton. como máximo en el proyecto 2 y 0.52 ton. como mínimo en el proyecto 3, representando en promedio un 1.32% de ahorro respecto a los cálculos sin optimización (p. 203).

Los autores Alex E.Siccha Pachamango y Juan Carlos Villarruel Pastor (2015), quienes son citados como el segundo antecedente de la investigación, obtienen como resultado a partir de “los metrados de acero, encofrado y concreto en estructuras de Revit, y compararlos con los calculados manualmente” en la hoja de cálculo Microsoft Excel, un error promedio de 1.58%, que para los autores es calificado como irrelevante ya que es “mínimo” (p. 92). En la presente investigación se halló un error de 9.36% para la primera obra, 7.05% para la segunda obra y 8.37% para la tercera obra, resultado de la comparación de presupuesto obtenido de forma tradicional y presupuesto de obtenido por modelado BIM de acero con Revit y CutLogic considerando variaciones implícitas en el habilitado. Por lo que se rechaza estos resultados para el presupuesto del acero, se debe tener en cuenta que en la investigación realizada por los autores no consideraban las variaciones de corte, doblado ni optimización.

A su vez los autores, Siccha Pachamango & Villarruel Pastor, recomiendan “considerar los metrados proporcionado por el Software Revit para una estimación de costos del proyecto, exceptuando las partidas de acero, ya que el software usa un coeficiente promedio de kg/m³ para su cuantificación y presentan diferencias relativamente mayores”(Siccha Pachamango & Villarruel Pastor, 2015, p. 93); respecto a esta recomendación el autor de la presente investigación entra en desacuerdo puesto que para la correcta utilización de software se requiere de configuración, con criterio de normativa para el contexto, previa a su uso de modelado. Recordando que el software es solo una herramienta que debe ser preparada y dispuesta según nuestras necesidades, no se descarta el uso del software que es una herramienta para uso mundial y no podría ajustarse a cada necesidad por defecto; si no que se recomienda la correcta preparación y estudio de los usuarios para su manejo.



En la investigación titulada “Evaluación del sistema de despiece de acero ASTM-A615 en edificaciones en la ciudad de Huancayo” realizada por el autor Kevin M. Soriano Santiago (2016), quien es citado como tercer antecedente, concluye que “el sistema de despiece de aceros ASTM-A615, no es eficiente debido a que genera pérdidas de materiales, esto se vio reflejado en el porcentaje de desperdicio que se generó en el sistema de optimización de corte de acero evaluado en los 04 proyectos de su estudio, que fue del 4.29%, 5.72%, 3.83% y 2.65%”(Soriano, 2016), como promedio simple de los diferentes diámetros utilizados respectivamente para el caso de cada uno de los proyectos (p. 211). Esta conclusión es rechazada, puesto que considera como desperdicio a un residuo que es inevitable disminuir si se considera ejecutar el acero de forma tradicional en base a longitudes comerciales de varilla, y considerando que la eficiencia no es precisamente disminuir las pérdidas de recursos a 0%, en la presente investigación se califica a la eficiencia como: “La capacidad de cumplir adecuadamente una función, disminuyendo los desperdicios de esfuerzos, recursos y otros al mínimo razonablemente posible”.

Los desperdicios hallados por optimización de corte de varillas para los proyectos en estudio es de 1.19% para el proyecto 1; 4.23% para el proyecto 2 y 5.14% para el proyecto 3; valores que son cercanos a los obtenidos por el autor Soriano (2016); pero que para esta investigación no califican al proceso como ineficiente, puesto que estos desperdicios son calificados como desperdicios inevitables.

Finalmente, el autor analiza los desperdicios por diámetro de varillas hallando que en la ejecución de la optimización de las varillas de $\frac{1}{4}$ ” de diámetro, obtuvo un desperdicio del 4.17% usando varillas de 9 metros, se rechaza su conclusión puesto que en la presente se obtuvo un desperdicio, promedio de todas las edificaciones, de 13.17% para el mismo diámetro, y la diferencia de porcentajes supera el +/- 3% de error estimable según experiencia y entendiendo que la optimización varía según el nivel de exhaustividad de optimización que se le programe al software de patrones de corte.(p. 141)

En la ejecución de la optimización de las varillas de $\frac{3}{8}$ ” de diámetro, obtuvo un desperdicio del 2.27 % usando varillas de 9 metros; se reafirma su conclusión puesto que en la presente investigación se obtuvo un desperdicio, promedio de todas las edificaciones, de 0.46% para el mismo diámetro.(p. 143)

En la ejecución de la optimización de las varillas de $\frac{1}{2}$ ” de diámetro, obtuvo un desperdicio del 3.60 % usando varillas de 9 metros; se reafirma su conclusión puesto que en la



presente investigación se obtuvo un desperdicio, promedio de todas las edificaciones, de 1.23% para el mismo diámetro.(p. 144)

En la ejecución de la optimización de las varillas de 5/8” de diámetro, obtuvo un desperdicio del 2.16 % usando varillas de 9 metros; se reafirma su conclusión puesto que en la presente investigación se obtuvo un desperdicio, promedio de todas las edificaciones, de 3.00% para el mismo diámetro.(p. 146)

En la ejecución de la optimización de las varillas de 3/4” de diámetro, obtuvo un desperdicio del 2.34 % usando varillas de 9 metros; se reafirma su conclusión puesto que en la presente investigación se obtuvo un desperdicio, promedio de todas las edificaciones, de 3.26% para el mismo diámetro.(p. 148)

Como último antecedente se tiene la investigación titulada “Optimización de corte de varillas de acero de construcción” en la Universidad de Cuenca - Ecuador por el autor Gustavo Israel Ochoa Reiban (2014).

El autor concluye que “una vez obtenida la lista de piezas demandadas y realizar la optimización, se realizó el ingreso de datos agrupándolos en función del diámetro, es decir, por cada ejecución del programa se debe ingresar un solo tipo de diámetro”(Ochoa Reiban, 2014), conclusión que es confirmada por la presente tesis puesto que la optimización del material solo puede acomodar las piezas en un tipo varilla a la vez, y que se puede verificar en el apéndice K de los anexos de la presente.

A su vez concluye, (Ochoa Reiban, 2014), que el promedio ponderado de desperdicio según la cantidad de las piezas requeridas, para los edificios en estudio es de 5.93% (p. 42) generado por optimización de cortes; valor en promedio similar al hallado por el autor Kevin Soriano, (2016); considerando las varillas de longitud comercial usadas en Ecuador y analizadas por la investigación son de 6m. Estimación que es reafirmada como verídico por el presente estudio que tiene como valor de promedio ponderado final de las edificaciones un valor de 3.61% de desperdicio por optimización en longitud comercial de varilla.

5.3. Implicancias del estudio

“En pro de mejorar la adopción BIM en la industria actual tenemos que trabajar en el aumento de capacidades digitales y colaboración de los proyectistas”, según el Dr. Murguía



(2021) “esto será fundamental para progresar los entornos colaborativos en el sector público y privado”

Ratificando lo expuesto, para la presente investigación se tuvo que tener conocimiento a profundidad del software Revit 2020, para poder configurar los materiales, tipos de acero y parametrizar los valores de diámetro mínimo de doblado y especialmente de longitud de gancho según la norma E.060 (MVCS, 2006).

A su vez el estudio implicó tener conocimientos previos del proceso de construcción en el contexto de la ciudad, para ello se cuenta con una experiencia de 02 años en el rubro de construcción de edificaciones residenciales. Esta experiencia sirvió para notar que en la ciudad del Cusco no se cuenta con el alcance de ACEDIM (Aceros Arequipa, 2009) de forma rápida y accesible, también se comprobó que la única longitud comercial que está disponible, en el mercado de la ciudad es la longitud de 9 metros.

El trabajo en campo demostró a su vez que los procesos de metrados y presupuestos para el año de estudio de esta investigación aún se realizan en su mayoría de forma tradicional, utilizando referencias en 2D y hojas de cálculo. (Siccha Pachamango & Villarruel Pastor, 2015)

Esta investigación implicó el apoyo y colaboración de las empresas en la ciudad del Cusco dispuestas a apostar por una nueva metodología de trabajo, para ello se visitó las distintas empresas constructoras de Cusco en reiteradas oportunidades para que sean parte de una metodología que aportara grandes beneficios a todos los implicados.



CONCLUSIONES

Sobre la metodología de propuesta

La presente investigación permite valorar los trabajos con los aceros de construcción, desde el modelado a partir de los proyectos estructurales, hasta la fase de diseño presupuestal con respecto al proyecto, contemplando aspectos no tan comunes ni estudiados, como lo son la consideración de variaciones de longitud implícitas en el proceso de habilitado.

Considerar la elongación del doblado de hacer en el modelado BIM y presupuesto, permite que se pueda calcular la longitud de desarrollo real del acero que es necesaria para elaborar cada una de las piezas; respetando los diámetros mínimos de doblado que dicta la norma nacional desde el presupuesto e incorporando de manera consecuente calidad y durabilidad a las estructuras de concreto armado.

La nueva metodología de trabajo propuesta permite tener mayor control económico en la construcción por el uso eficiente del material acero, conllevando a mejorar la optimización e incrementar lo beneficios.

Finalmente, y por consecuencia se logra disminuir el impacto en la huella de carbono, generada por las industrias de la construcción, que se producen durante la fabricación del acero. Para este caso en particular optimizar el uso del acero aporta una solución hacia el meta del desarrollo sustentable.

Sobre los objetivos planteados

PRIMERA

En el desarrollo de la presente investigación se ha logrado determinar que la diferencia porcentual de kilogramos totales de acero, para el proyecto 1 tiene un exceso de uso del recurso acero del 9.18%, significando un costo de s/15,865.16 soles; el proyecto 2 tiene un exceso de uso del recurso acero del 8.38%, significando un costo de s/15,801.58 soles y el proyecto 3, tiene un exceso de uso del recurso acero del 10.45%, significando un costo de s/14,494.50 soles. El promedio ponderado de exceso de consumo de acero de los proyectos de edificaciones en los tres proyectos estudiados es del 9.21%, representando en promedio un costo de s/15,449.18 soles por cada edificación construida por las empresas, por lo tanto, se afirma la hipótesis general planteada.



SEGUNDA

En el desarrollo de la presente investigación, mediante la consideración del ajuste de elongaciones debido al doblado, se calculó tener un ahorro revelador de hasta 0,72 ton de acero de construcción, significando un ahorro de 1,32 % en promedio y ahorro de s/1,991.51 soles respecto al acero netamente calculado sin optimización, por lo tanto, se afirma la primera hipótesis específica planteada.

TERCERA

En el desarrollo de la presente investigación, mediante el cálculo de promedio de longitud consumida por corte en varilla, se ha logrado determinar que el porcentaje de kilogramos empleados en el proceso de corte de acero representa el 0.11% respecto al total de acero presupuestado, representado en costo promedio para los edificios estudiados un monto de s/158.76 soles, por lo tanto, se rechaza la segunda hipótesis específica planteada.

CUARTA

Finalmente se ha logrado determinar, mediante el cálculo de promedio de longitud de varilla real, que la optimización de las piezas de acero en esta longitud hallada significa un ahorro de 0.37% frente a una optimización considerando la longitud teórica de proveedor, representado en costo promedio para los edificios estudiados un monto de s/582, 04 soles, por lo tanto, se afirma la tercera hipótesis específica planteada.



RECOMENDACIONES

Primera: Se recomienda a próximos investigadores que se haga un análisis de optimización aplicando la metodología expuesta con una longitud comercial de varilla de doce metros, que también es ofertada pero aún no es del todo comercial para la ciudad de estudio; para evaluar si el uso de esta longitud mayor es conveniente aun frente a las dificultades de adquisición y almacenaje.

Segunda: Se recomienda a las empresas de construcción y próximos investigadores la elaboración de un: “Plan de ejecución óptimo de acero en obra”, utilizando y adaptando la información alcanzada por la metodología de trabajo propuesta para llevar un control estricto de la cantidad total de acero empleado durante el cumplimiento de las partidas que involucren acero de esta manera no desaprovechar toda la información recolectada en el modelo 3D y darle mayor alcance aplicándola sobre la ejecución y proceso constructivo.

Tercera: Se recomienda a próximos investigadores que realicen la ejecución de los patrones de corte para una edificación con el propósito de estudiar la aplicación de esta metodología y analizar las causas de buen o mal cumplimiento.

Cuarta: Se recomienda a empresas de la construcción que asignen recursos con el propósito de conseguir un mejor control y registro de los cambios que involucran materiales en obra, para que la información pueda ser utilizada como experiencia en próximas edificaciones de esta manera ajustar los costos y presupuestos con mayor precisión.



REFERENCIAS

- Aceros Arequipa. (2009). Acero Dimesionado. *Presentacion CONEIC UNI 2009*.
<http://www3.vivienda.gob.pe/dnc/archivos/difusion/eventos/piura/acero dimensionado.pdf>
- Almeida Del Savio, A. (2019). BIM en el Perú. *Universidad de Lima*.
<http://repositorio.ulima.edu.pe/handle/ulima/8269>
- Alonso Madrid, J. (2015). Nivel de desarrollo LOD. Definiciones, innovaciones y adaptación a España. *Spanish Journal of BIM*, 14/01, 19–25.
- Barriga Gallegos, A. H. (2017). “Análisis de desperdicios generados en la fase de construcción de edificaciones en la ciudad universitaria UNA - Puno y propuesta de reducción.” In *Universidad Nacional Del Altiplano*. Universidad Nacional Del Altiplano.
- Buleje Revilla, K. E. (2012). *Productividad en la Construcción de un Condominio Aplicando Conceptos de la Filosofía Lean Construcción*. 1–102.
- Cantu, A., Lopez, M., & Peirone, P. (2018). Análisis De Los Factores Que Afectan La Productividad De Obras Civiles. *Jornada de Divulgación de La Carrera de Ingeniería Civil*, 1–6.
- CAPECO. (2019). La Industria del Acero : ¿ Un mercado consolidado ? *Informe Económico de La Construcción N°22*, 55–57.
- Castro Atau, Y. (2010). *Sistematización de detalles, habilitación y armado de aceros ASTM A615 para construcciones de concreto armado: Impacto técnico, económico y ambiental*. Universidad Nacional San Cristobal de Huamanga.
- Flores Flores, P. B. (2015). *Productividad e innovación en el abastecimiento de materiales utilizandi la filosofía Lean Construction en edificaciones multifamiliares (Caso : Proyecto Moon – Santiago De Surco-Lima)*. Universidad de San Martín de Porres.
- Fondo MIVIVIENDA S.A. (2010). *Estudio De Mercado De La Vivienda Social En Cusco*.
- Galarza Meza, M. P. (2014). Desperdicio De Materiales En Obras De Construcción Civil: Metodos De Medicion Y Control. In *Pontificia Universidad Católica del Perú*.



<https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>

Ganosa Salazar, D., & Solano Lazo, U. C. (2004). *Un algoritmo de búsqueda adaptativa aleatoria y golosa para la resolución del problema de cortes*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Garcés Seguel, J. E. (2007). *Optimización de los esquemas de corte en aserraderos forestales mediante algoritmos metaheurísticos*. Universidad de Concepción - Chile.

Grytting, I., Svalestuen, F., Lohne, J., Sommerseth, H., Augdal, S., & Lædre, O. (2017). Use of LoD Decision Plan in BIM-projects. *Procedia Engineering*, 196(June), 407–414. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.07.217>

Hernandez Sampieri, R., Fernandez Collado, C., & Baptista Lucio, M. del P. (2010). METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN - Quinta edición. In *Metodología de la investigación* (5° edición). <http://www.casadellibro.com/libro-metodologia-de-la-investigacion-5-ed-incluye-cd-rom/9786071502919/1960006>

Herrera, A. S. (2021). Aplicación De La Metodología Bim En Un Proyecto De Edificación : 10 Viviendas , Garajes Y Trasteros En Edificio Plurifamiliar. *Journal of BIM and Construction Management*, 3, 1–13.

INEI. (2017a). *Cuentas Nacionales del Perú: Producto Bruto Interno por Departamentos 2007-2016*.

INEI. (2017b). Perú: Perfil Sociodemográfico, 2017; Características de la infraestructura de las viviendas particulares. *Perú Perfil Sociodemográfico, 2017*, 40. https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1539/cap04.pdf

INEI. (2020). *Perú: Anuario de Estadísticas Ambientales, 2020*. 531.

MEF. (2020a). Lineamientos para la utilización de la metodología BIM en las inversiones públicas. *Dirección General de Programación Multianual de Inversiones*, 1–10.

MEF. (2020b). PLAN DE IMPLEMENTACIÓN Y HOJA DE RUTA DEL PLAN BIM PERÚ. *Dirección General de Programación Multianual de Inversiones*.

Murguía, D., Tapia, J., & Collantes, J. (2017). Primer estudio de adopción BIM en proyectos



de edificación en Lima y Callao 2017. C.
<http://repositorio.pucp.edu.pe/index/handle/123456789/134474>

Murguía, D., Tapia, J., & Collantes, J. (2021). Segundo Estudio de Adopción BIM en Proyectos de Edificación en Lima y Callao. *Pontificia Universidad Católica Del Perú*, 2, 26.
<http://repositorio.pucp.edu.pe/index/handle/123456789/176216>

MVCS. (2006). Reglamento Nacional de Edificaciones. In *Reglamento Nacional de Edificaciones*. [http://www.urbanistasperu.org/rne/pdf/Reglamento Nacional de Edificaciones.pdf](http://www.urbanistasperu.org/rne/pdf/Reglamento_Nacional_de_Edificaciones.pdf)

MVCS. (2010). Metrados para obras de edificación y habilitaciones urbanas. *Norma Técnica*, 156. http://cdn-web.construccion.org/normas/files/tecnicas/RD_073_2010.pdf

Ochoa Reiban, G. I. (2014). “Optimización de corte de varillas de acero de construcción” [Universidad de Cuenca].
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/19839/1/tesis.pdf>

Peñañiel Yagual, J. R. (2017). Análisis de los desperdicios de materiales de construcción: hierro, hormigón y encofrado de la obra construcción del malecón de Ballenita. In *Universidad de Guayaquil*. Universidad de Guayaquil.

Pons Achell, J. F. (2014). Introducción a Lean Construction. In Fundación Laboral de la Construcción (Ed.), *Fundación Laboral de la Construcción*.
<http://www.juanfelipepons.com/wp-content/uploads/2017/02/Introduccion-al-Lean-Construction.pdf>

Rivero Ángeles, F. J., Gomez Ramírez, E., & Flores Méndez, A. (2005). Optimización de materiales mediante patrones de corte eficiente: aplicación a la industria de la construcción. *IMCYC : Construcción y Tecnología*, Núm.209, 45–49.

Rodríguez, C. A., Calderón, F. N., & Yáñez, A. H. (2018). *Análisis de porcentaje de desperdicio de acero en dos estructuras de hormigón armado* (Vol. 25, Issue 1). Universidad de Guayaquil.

Rojas, M., Jaimes, L., & Valencia, M. (2018). Efectividad, eficacia y eficiencia en equipos de trabajo. *Espacios*, 39(6).

Salazar Ramos, J. (2003). CAPECO: Costos y Presupuestos de Edificación. *Capeco*, 375.



- Salinas Seminario, M. (2010). *Costos y Presupuestos de Obra* (8va ed.). Instituto de la Construcción Y Gerencia.
- Salto, C. (2009). *Metaheurísticas Híbridas Paralelas Para Problemas Industriales De Corte*. Universidad Nacional de San Luis - Argentina.
- Siccha Pachamango, A. E., & Villarruel Pastor, J. C. (2015). *Propuesta de ejecución constructiva de la obra “Los dijes del Golf” para mejorar la productividad mediante el proceso BIM con el software Revit, en la ciudad de Trujillo del 2015* [Universidad Privada Antenor Orrego].
http://www.gonzalezcabeza.com/documentos/CRECIMIENTO_MICROBIANO.pdf
- Soibelman, L. (2000). *Desperdicios VS el control de los materiales*.
<http://www.imcyc.com/cyt/septiembre03/desperdicios.htm>
- Soriano, K. (2016). *Evaluación del Sistema de Despiece de Aceros Astm-A615 en Edificaciones en la Ciudad de Huancayo* [Universidad Peruana Los Andes].
http://repositorio.upla.edu.pe/bitstream/handle/UPLA/190/Kevin_Soriano_Tesis_Titulo_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- TMachines. (2017). *TMachines: About us*. [En Línea]. <https://www.tmachines.com/about-us/>
- Vizcarra Aparicio, J. M. (2018). *Reporte Regional del Building Information Modeling (BIM) Cusco 2018*.