

## TABLA DE CONTENIDO

1	Introducción .....	1
2	Conceptos teóricos.....	2
2.1	Introducción .....	2
2.2	Términos y definiciones.....	2
2.3	La energía en la vivienda .....	6
3	Objetivos .....	11
3.1	Objetivo general.....	11
3.2	Objetivos Específicos .....	11
4	Metodología.....	11
5	Tipología y ubicación de las viviendas .....	12
5.1	Introducción .....	12
5.2	Especificaciones técnicas de las viviendas .....	12
5.3	Ubicación de las viviendas.....	14
6	Aislación y reacondicionamiento térmico en las viviendas .....	15
6.1	Introducción .....	15
6.2	Cálculo de la transmitancia térmica de las envolventes .....	16
6.3	Reacondicionamiento térmico para cada zona .....	17
7	Demanda energética de las viviendas .....	24
7.1	Introducción .....	24
7.2	Cálculo de demanda de calefacción anual.....	25
7.2.1	Cálculo de la demanda de calefacción utilizando el método de los grados hora .....	26
8	Tecnologías a implementar .....	37
8.1	Introducción .....	37
8.2	Paneles solares fotovoltaicos: .....	37
8.3	Paneles solares para calentamiento de agua caliente sanitaria (acs): .....	39
8.4	Turbina/Molino eólico (generación de electricidad).....	40
8.5	Biomasa (pellets, calefacción) .....	43
8.6	Bombas de calor geotérmicas y/o aerotérmicas (de baja entalpía, para calefacción): .....	44

8.7	Disponibilidad de los recursos .....	45
8.8	Determinación de los potenciales de cada tecnología .....	49
8.9	Determinación de las potencias a instalar .....	52
8.9.1	Descripción del programa Retscreen .....	52
8.9.2	Datos de entrada utilizados .....	53
8.9.3	Potencias instaladas.....	57
9	Evaluación económica .....	61
9.1	Introducción .....	61
9.2	Determinación de costos .....	61
9.2.1	Costo del reacondicionamiento térmico.....	62
9.2.2	Evaluación económica de las tecnologías.....	65
9.3	Posibilidades de financiamiento .....	80
9.4	Flujos de caja conjuntos .....	82
9.5	Análisis de Sensibilidad.....	90
10	CONCLUSIONES Y COMENTARIOS.....	101
10.1	Comentarios.....	101
10.2	Conclusiones.....	103
11	Bibliografía .....	106
12	Anexos .....	108

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Ganancias y pérdidas de calor en la vivienda .....	9
Tabla 6.1: Valores de transmitancia térmica exigidos y recomendados (MINVU, 2009).....	16
Tabla 6.2: Transmitancia térmica vivienda 1.....	16
Tabla 6.3: Transmitancia térmica para vivienda 2 .....	17
Tabla 6.4: Resumen de transmitancias térmicas.....	17
Tabla 6.5: Nuevas transmitancias térmicas para Lonquimay .....	18
Tabla 6.6: Nuevas transmitancias térmicas para Santiago .....	19
Tabla 6.7: Nuevas transmitancias térmicas para Osorno.....	20
Tabla 6.8: Nuevas transmitancias térmicas para Lonquimay.....	21
Tabla 6.9: Nuevas transmitancias térmicas para Santiago .....	21
Tabla 6.10: Nuevas transmitancias térmicas para Osorno.....	22
Tabla 6.11: Valores Máximos de transmitancia térmica según NCh 1079 .....	22
Tabla 7.1: Consumo total promedio de energía en kWh según zona térmica (CDT, 2010).....	24
Tabla 7.2: Consumo de energía anual por m <sup>2</sup> según zona térmica para cada vivienda .....	25
Tabla 7.3: Consumo de energía anual según zona térmica para cada vivienda .....	25
Tabla 7.4: Temperatura mínima media para cada ciudad .....	26
Tabla 7.5: Inputs para el cálculo de G para la vivienda 1.....	27
Tabla 7.6: Inputs para el cálculo de G para la vivienda 2 .....	28
Tabla 7.7: Resumen de los valores de G según la zona para las viviendas 1 .....	28
Tabla 7.8: Resumen de los valores de G según la zona para las viviendas 2.....	28
Tabla 7.9: Demandas máximas de calefacción .....	29
Tabla 7.10: Resumen de grados días para cada mes.....	29
Tabla 7.11: Resumen de grados días para cada mes .....	29
Tabla 7.12: Resumen de grados días normalizados para cada mes.....	29
Tabla 7.13: Resumen de grados días normalizados para cada mes.....	30
Tabla 7.14: Factores Fi .....	30
Tabla 7.15: Temperaturas para diseño de calefacción .....	31
Tabla 7.16: Variables de metodología Retscreen para Iquique .....	31
Tabla 7.17: Variables de metodología Retscreen para Lonquimay.....	31
Tabla 7.18: Variables de metodología Retscreen para Santiago.....	31
Tabla 7.19: Variables de metodología Retscreen para Osorno .....	32
Tabla 7.20: Demanda de calefacción total por m <sup>2</sup> .....	33
Tabla 7.21: Irradiancia Global Horizontal media mensual por ciudad .....	34
Tabla 7.22: Ganancias solares para la vivienda 1.....	35
Tabla 7.23: Ganancias solares para la vivienda 2. ....	35
Tabla 7.24: Demandas totales netas de calefacción .....	36

Tabla 7.25: Ahorro de energía anual tras R.T.....	36
Tabla 8.1: Irradiancia global horizontal.....	46
Tabla 8.2: Velocidad del viento a 5 m de altura.....	47
Tabla 8.3: Velocidad del viento a 10 m de altura.....	47
Tabla 8.4: Área de techo disponible y potencia instalable .....	50
Tabla 8.5: Energía disponible en cada ciudad .....	50
Tabla 8.6: Energía disponible por ciudad.....	50
Tabla 8.7: Cargas nominales de calefacción para cada caso.....	56
Tabla 8.8: Superficie de paneles solares instalados .....	57
Tabla 8.9: Características de las instalaciones de sistemas FV para cada caso .....	58
Tabla 8.10: Bombas de calor Aerotérmicas .....	58
Tabla 8.11: Potencia requerida y potencia instalada para cada caso.....	59
Tabla 8.12: Bombas de calor geotérmicas.....	59
Tabla 8.13: Potencia demandada y potencia instalada para cada caso .....	60
Tabla 9.1: Superficies de la vivienda 1.....	62
Tabla 9.2: Superficies de la vivienda 2.....	62
Tabla 9.3: Costo de aislación para muros y techos (UNTEC, 2014).....	63
Tabla 9.4: Costo de ventanas de termopanel (UNTEC, 2014) .....	63
Tabla 9.5: Costo de Mano de Obra para la instalación de aislación (UNTEC, 2014) .....	63
Tabla 9.6: Costo de Reacondicionamiento térmico.....	64
Tabla 9.7: Precio Gas natural licuado .....	64
Tabla 9.8: Ahorro anual asociado al R.T. ....	64
Tabla 9.9: Tiempo de retorno del costo del R.T. ....	65
Tabla 9.10: Precios de combustibles para cada ciudad .....	65
Tabla 9.11: Resultados de flujo de caja para sistemas de ACS Solar .....	67
Tabla 9.12: Resultados de flujos de caja para sistemas FV en la vivienda 1.....	68
Tabla 9.13: Resultados de flujos de caja para sistemas FV en la vivienda 2 .....	68
Tabla 9.14: Características de los sistemas FV, Vivienda 1.....	68
Tabla 9.15: Características de los sistemas FV, Vivienda 2 .....	69
Tabla 9.16: Estufas a pellets .....	69
Tabla 9.17: Resultados de flujos de caja para el caso base de la vivienda 1 .....	70
Tabla 9.18: Resultados de flujos de caja para el caso base de la vivienda 2.....	70
Tabla 9.19: Resultados de los flujos de caja para la vivienda 1 tras R.T.....	71
Tabla 9.20: Resultados de los flujos de caja para la vivienda 2 tras R.T. ....	71
Tabla 9.21: Precios de los componentes para los sistemas geotérmicos (Vielma, 2014).....	72
Tabla 9.22: Costos asociados al sistema de distribución (Vielma, 2014) .....	72
Tabla 9.23: Resultados de flujos de caja para los casos base de la vivienda 1 .....	74
Tabla 9.24: Resultados de flujos de caja para los casos base de la vivienda 2 .....	74
Tabla 9.25: Profundidades de excavación necesarias y sus costos.....	74
Tabla 9.26: Profundidades de excavación necesarias tras R.T. ....	75

Tabla 9.27: Resultados de flujos de caja para los casos base de la vivienda 1 tras R.T .....	75
Tabla 9.28: Resultados de flujos de caja para los casos base de la vivienda 2 tras R.T .....	75
Tabla 9.29: Resultados de los flujos de caja para los casos base de la vivienda 1 ....	76
Tabla 9.30: Resultados de los flujos de caja para los casos base de la vivienda 2 ...	77
Tabla 9.31: Resultados de los flujos de caja para la vivienda 1 tras R.T.....	77
Tabla 9.32: Resultados de los flujos de caja para la vivienda 2 tras R.T.....	77
Tabla 9.33: Datos de bombas de calor aerotérmicas (ODEN) .....	78
Tabla 9.34: Costos asociados a los elementos del sistema Aerotérmico.....	78
Tabla 9.35: Resultados de los flujos de caja para los casos base de la vivienda 1 ....	79
Tabla 9.36: Resultados de los flujos de caja para los casos base de la vivienda 2 ...	79
Tabla 9.37: Resultados de los flujos de caja para la vivienda 1 tras R.T .....	79
Tabla 9.38: Resultados de los flujos de caja para la vivienda 2 tras R.T.....	80
Tabla 9.39: Información de subsidio a la compra para sectores vulnerables (MINVU) .....	80
Tabla 9.40: Información de subsidio a la compra para sectores medios (MINVU) .....	81
Tabla 9.41: Valor de subsidios aplicables en la vivienda 1 .....	82
Tabla 9.42: Sistemas para la vivienda 1, Iquique .....	83
Tabla 9.43: Sistemas para la vivienda 2, Iquique .....	83
Tabla 9.44: Sistemas para la vivienda 1, Lonquimay .....	83
Tabla 9.45: Sistemas para la vivienda 2, Lonquimay .....	83
Tabla 9.46: Sistemas para la vivienda 1, Santiago.....	84
Tabla 9.47: Sistemas para la vivienda 2, Santiago.....	84
Tabla 9.48: Sistemas para la vivienda 1, Osorno .....	84
Tabla 9.49: Sistemas para la vivienda 2, Osorno.....	85
Tabla 9.50: Sistemas para la vivienda 1 con R.T, Lonquimay.....	85
Tabla 9.51: Sistemas para la vivienda 2 con R.T, Lonquimay .....	86
Tabla 9.52: Sistemas para la vivienda 1 con R.T, Santiago.....	86
Tabla 9.53: Sistemas para la vivienda 2 con R.T, Santiago .....	86
Tabla 9.54: Sistemas para la vivienda 1 con R.T, Osorno.....	86
Tabla 9.55: Sistemas para la vivienda 2 con R.T, Osorno .....	87
Tabla 9.56: Resultados de Flujos de Caja conjuntos para la vivienda 1 .....	87
Tabla 9.57: Resultados de Flujos de Caja conjuntos para la vivienda 2.....	87
Tabla 9.58: Costos iniciales de tecnologías seleccionadas para cada caso.....	88
Tabla 9.59: Costos iniciales de tecnologías seleccionadas para cada caso, en UF ...	88
Tabla 9.60: Costo total de viviendas y sistemas en UF .....	88
Tabla 9.61: Tasas de interés .....	88
Tabla 9.62: Dividendos mensuales para cada caso, en CLP .....	89
Tabla 9.63: Costo inicial total en CLP.....	89
Tabla 9.64: Resultados de flujos de caja considerando el costo inicial total de sistemas instalados y vivienda para la casa 1.....	89

Tabla 9.65: Resultados de flujos de caja considerando el costo inicial total de sistemas instalados y vivienda para la casa 2 .....	89
Tabla 9.66: Análisis de Sensibilidad sistemas FV Casa 1, Iquique.....	90
Tabla 9.67: Análisis de Sensibilidad sistemas FV Casa 2, Iquique.....	91
Tabla 9.68: Análisis de Sensibilidad sistemas FV Casa 1, Lonquimay .....	91
Tabla 9.69: Análisis de Sensibilidad sistemas FV Casa 2, Lonquimay .....	91
Tabla 9.70: Análisis de Sensibilidad sistemas FV Casa 1, Santiago .....	91
Tabla 9.71: Análisis de Sensibilidad sistemas FV Casa 2, Santiago .....	92
Tabla 9.72: Análisis de Sensibilidad sistemas FV Casa 1, Osorno.....	92
Tabla 9.73: Análisis de Sensibilidad sistemas FV Casa 2, Osorno .....	92
Tabla 9.74: Análisis de sensibilidad para sistemas de biomasa casa 1, Lonquimay	93
Tabla 9.75: Análisis de sensibilidad para sistemas de biomasa casa 2, Lonquimay	94
Tabla 9.76: Análisis de sensibilidad para sistemas de biomasa casa 1, Santiago.....	95
Tabla 9.77: Análisis de sensibilidad para sistemas de biomasa casa 2, Santiago ....	96
Tabla 9.78: Análisis de sensibilidad para sistemas de biomasa casa 1, Osorno.....	97
Tabla 9.79: Análisis de sensibilidad para sistemas de biomasa casa 2, Osorno .....	98
Tabla 9.80: Tiempos de retorno del sistema de calefacción ante cambios en la carga nominal de calefacción, Casa 1.....	99
Tabla 9.81: Tiempos de retorno del sistema de calefacción ante cambios en la carga nominal de calefacción, Casa 2 .....	99
Tabla 9.82: Costo anual de calefacción con GNL según cambio en carga nominal, Casa 1 .....	99
Tabla 9.83: Costo anual de calefacción con GNL según cambio en carga nominal, Casa 2.....	99
Tabla 10.1: Resumen de flujos de caja de la combinación de sistemas, Casa 1.....	103
Tabla 10.2: Resumen de flujos de caja de la combinación de sistemas, Casa 2.....	104
Tabla 10.3: Resumen de flujos de caja de la combinación de sistemas con el costo de la vivienda, Casa 1.....	104
Tabla 10.4: Resumen de flujos de caja de la combinación de sistemas con el costo de la vivienda, Casa 2 .....	104

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 3.1: Usos de la energía en Chile .....	6
Figura 3.2 : Consumo de energía por combustible a nivel País (CDT, 2010) .....	7
Figura 3.3: Consumo de energía residencial total país (CDT, 2010) .....	7
Figura 3.4 Intercambios de calor entre la vivienda y el entorno.....	8
Figura 6.1: Caso base 1,Iquique.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura 7.1: Ejemplo de configuración de datos meteorológicos en Retscreen .....	54
Figura 8.1: Gráfico de carga de diseño v/s área de fan coil necesaria (Vielma, 2014) .....	73